UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

GRADO EN INGENIERÍA

DE SISTEMA DE COMUNICACIONES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

MIGRACIÓN DEL SISTEMA NAVAL TACAN

AUTOR: CRISTINA REINO VILLAMAYOR

TUTOR: JESÚS ARROYO HERNANDEZ

TÍTULO: MIGRACIÓN DEL SISTEMA NAVAL TACAN

AUTOR: CRISTINA REINO VILLAMAYOR

TUTOR: JESÚS ARROYO HERNANDEZ

La defensa del presente Trabajo de Fin de Grado se realizó el día 8 de Octubre de 2015 siendo calificada por el siguiente tribunal:

PRESIDENTE:

SECRETARIO:

VOCAL:

Habiendo obtenido la siguiente calificación:

CALIFICACIÓN:

Presidente Secretario Vocal

Agradecimientos

Quiero agradecer todo el apoyo que me ha mostrado mi familia durante la carrera, en concreto a mi padre. Él ha sido y será mi ejemplo a seguir, por aconsejarme, guiarme y ayudarme durante toda mi vida.

En segundo lugar tengo que agradecer a Sánchez Sur por haberme dado la oportunidad y la responsabilidad de realizar mi proyecto de fin de grado con ellos. Concretamente a Miguel de la Llave, Javier Vanaclocha y Antonio Sánchez.

Y por último y no menos importante a mis amigos:

A Luismi y Nati, mis compañeros de la universidad que se han convertido en amigos y son imprescindibles en mi vida.

A Ángela, por haber compartido con ella estos 25 años de amistad, mi eterna compañera en la vida.

Sencillamente, por todo esto, gracias a todos.

ÍNDICE

Índice de figuras

Índice de tablas

Acrónimos

HAT: Pruebas de Puerto

LPD: (Landing Plataform Docks) Buque de asalto anfibio

VOR: (VHF Omni-directional Radio Range) Sistema de Comunicaciones omnidireccional VHF

DME: (Distance Measuring Equipment) Determinación de la distancia

HPA: (Hihgt Power Amplifier) Amplificador de alta frecuencia

VDC: Tensión en corriente continua

VAC: Tensión en corriente alterna

V.S.W.R.: Relación de Onda Reflejada

E.D.T.: Estrucutra del Desglose del Trabajo

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

BITE: (Built in self-test) Equipo de prueba incorporado

TFG: Trabajo Fín de Grado

Resumen

El presente documento trata sobre el estudio de la migración e instalación del sistema TACAN MM-7000, que se ha realizado a bordo de un buque de la Armada Española, trabajo encargado a una empresa dedicada a proyectos de carácter militar. Por este motivo, el trabajo que se expone en esta memoria es el resultado de un proyecto de gran complejidad técnica y sensible por tratar aspectos de ámbito militar.

El mercado aeronáutico es altamente importante para la economía de los Estados, por ello, la demanda de realizar fuertes inversiones en nuevos sistemas o el mantenimiento de estos, da lugar a que exista el diseño y desarrollo de estos proyectos. Debido a la situación socioeconómica que está atravesando España, el sector aeronáutico se centra en gran parte en el mantenimiento de sistemas previamente desarrollados, minorando la evolución de la industria en este sector.

El mantenimiento que se realiza en una aeronave en su ciclo de vida útil, en todos sus ámbitos (preventivo, correctivo y adaptativo), en la mayoría de los casos es complejo y costoso, aunque gracias al desarrollo de estas actividades, ha surgido la necesidad de subcontratar a empresas privadas la ejecución de estos trabajos.

En primer lugar, se explicará el sistema y su funcionamiento, así como algunos de los componentes más importantes, como es la antena omnidirecional utilizada. En segundo lugar, se hará un estudio sobre las pruebas realizadas a bordo del buque y las herramientas utilizadas por el personal técnico que intervino en ellas. Finalmente se analizará el presupuesto necesario para abordar este tipo de trabajo.

Abstract

The present document is about the migration study and the installation of TACAN MM-7000 system, which was executed on board a Spanish Armada's aircraft. A company dedicated to military projects was put in charge of this work. Therefore, the work explained in the report is the result of a complex undertaking including sensitive information due to it deals with military aspects concerning the armed forces.

The aeronautic market is vital for the States' economy. Consequently, the development of these projects exists given the high demand of massive investments in new systems or their maintenance.

Because of the socio-economic situation that Spain is going through, the aeronautic sector is mainly focused on the maintenance of previously developed systems reducing the evolution of industry in this sector.

The maintenance and the repairs carried out in an aircraft in its life cycle are mostly expensive complexes. However, the necessity of subcontracting private enterprises for the execution of these works has come up on account of these activities.

Firstly, the system, its operation and some of the most important components such as the directive antenna used, will be explained. Secondly, a study about the tests performed on board the ship and the tools utilized by the technical personnel will be done.

Finally, the necessary budget to tackle this type of work will be analyzed.

1. Introduction

1.1 Motivation

The development of this project is due to the need of carrying out the periodical verification of the TACAN system, and develop its outputs by the migration of the TACAN AN/ SRN- 15A System to the TACAN MM-7000 System with antenna AS-3240A/URN, fulfilling the installation requirements of this system in a Naval Platform.

The aim is the installation of the TACAN MM-7000 System on board of one of the Spanish Armada ships, trying to produce the minimum impact on the previous installation, maintaining the highest number of wirings as possible and the mechanical parts already existent in the previous installation. In addition, the corresponding tests of continuity and insulation of the wiring, integration of the System, HAT's tests (on the harbour) and Sea tests will be done.

The use of TACAN system is relatively simple; its complexity lives in an intern level of the system, given that the technology used in its development and fabrication is old. We will explain its origins in the next chapter. This forces to need continuous and periodical revisions of its working to maintain suitably the circle of life of the system. The verifications are done in every kind of aircrafts; this document will be focused on the specific study of the TACAN system on board of LDP L-52 "Castilla".

1.2 Objectives

The main objectives of this project are summed up in the following lines, as it will be deduced throughout the document:

Substitution of the TACAN AN/SRN- 15A System by the TACAN MM-7000 System, restoring like this, all the obsolete elements due to the new technologies advance and supplying of better technical outputs to the system.

Analysis of the executed tests, once the migration is done.

Study of the business plan, and study of the definition of the Company's engineering services to apply on the project.

2. Descripción y especificaciones del equipo

2.1 Antecedentes Históricos

El sistema TACAN nació como un sistema de aeronavegación para uso militar. Sus orígenes datan de 1949 y desde sus comienzos, no ha sufrido muchas variaciones en la tecnología empleada en su construcción.

En el ámbito comercial, se desarrolló gracias a los servicios postales, en concreto en Estados Unidos. La correspondencia postal desde tierra era difícil ya que se tenían que cubrir grandes extensiones, por ello, se estableció el transporte aéreo entre ciudades de larga distancia. Los vuelos que se realizaban no eran seguros debido a la falta de medios tecnológicos. La primera medida fue instalar un sistema de faros con luces intermitentes para que los pilotos se orientasen en las rutas que debían seguir, en los faros se instalaron bombillas cuyo haz de luz se reflejaba en espejos parabólicos, fue un avance importante pero aun así, este sistema era ineficiente en las noches con malas condiciones meteorológicas.

Durante años, se realizaron numerosos experimentos para instalar sistemas de aeronavegación en los aviones. Desarrollaron sistemas de radio-navegación que consistían en radio balizas que emitían en bandas de baja frecuencia, se situaban aproximadamente cada 200 millas. El funcionamiento de las balizas consistía en la emisión de dos señales en código Morse, que se fusionaban cuando el avión tomaba el rumbo correcto, si por el contrario se producía una desviación de la ruta se escuchaba A o N, dependiendo del rumbo de desviación.

Ya en 1930, se consiguió que los pilotos se pudiesen comunicar mediante mensajes radiotelefónicos entre la cabina del avión y las estaciones terrestres. El siguiente avance de navegación aérea se produjo con la aparición del radiogoniómetro. Este sistema se basa en la utilización de una antena directiva que se orienta buscando una señal, consta de un transmisor denominado NBD (Non Director Beacon) y un receptor en la cabina del avión denominado ADF (Automatic Directorial Finder) con el objetivo de estimar el ángulo de procedencia de las ondas electromagnéticas. Se utilizan antenas de cuadro, formadas por una o varias espiras junto con dipolos. Esta combinación produce un diagrama de radiación tipo cardioide, donde el nulo indica la dirección de la señal.

En 1950 aparece el sistema VOR (VHF Omni-directional Radio Range). Sistema de aeronavegación que recibe tres señales. Una permite al piloto identificar la estación y es transmitida en código morse, las otras dos son la señal de referencia y señal variable. El sistema compara la señal de referencia con la señal variable obteniendo la oposición de fase que permite conocer el rumbo entre el receptor y el emisor y la distancia a la estación.

El sistema TACAN es la versión del sistema VOR en el ámbito militar, aunque evolucionado y con mejores prestaciones. La novedad que introduce este sistema es que permite obtener la orientación de dos objetos en movimiento, como por ejemplo una aeronave y un barco, caso que estudiaremos.

La versión civil y versión militar tienen elementos comunes pero en el terreno militar algunos datos son sensibles, por lo que no son conocidos.

Este sistema no ha sufrido muchos cambios y actualmente está incorporado en la mayoría de las aeronaves y es difícilmente sustituible por otros sistemas. En la actualidad se dan situaciones como labores de rescate, supervisión, incendios o aprovisionamiento en catástrofes, que gracias a estos sistemas, es posible facilitar información a las aeronaves de su posición respecto a un objeto en concreto. El mantenimiento del sistema debe ser realizado por personal técnico experimentado y con amplios conocimientos, cuestión importante para la verificación de las certificaciones periódicas del sistema.

2.2 Descripción del sistema

2.2.1 Funcionamiento

Este capítulo contiene una descripción de la configuración del sistema MM-7000, así como sus características de funcionamiento y descripción de los componentes del equipo, los componentes principales son la radiobaliza instalada en tierra o en nuestro objeto de estudio radiobaliza móvil marítima, transpondedor a bordo del buque y una antena.

El sistema TACAN está diseñado para proporcionar la distancia en millas náuticas (1 milla náutica equivale a 1852 metros), el rumbo de la aeronave y un código que identifica a la estación que recibe las señales a una determinada frecuencia. Puede proporcionar la distancia de al menos 250 aeronaves simultáneamente, sin embargo la información del azimut sólo puede ser proporcionada a un número limitado de aeronaves. Consta de 252 canales, 126 para cada modo en el que trabaja, “Modo X” y “Modo Y”. La frecuencia varía según los canales que se utilizan, pudiendo ser tierra-aire o aire-tierra.

CANAL	MODO	FRECUENCIA (MHZ) AIRE-TIERRA		FRECUENCIA (MHZ) TIERRA-AIRE	
		DESDE	A	DESDE	A
1 to 63	X	962	1024	1025	1087
64 to 126	Y	1025	1087	1088	1150
1 to 63	Y	1088	1150	1025	1087
64 to 126	X	1151	1231	1088	1150

Tabla 1. Frecuencias TACAN

La señal TACAN consiste en un tren de pulsos. El tiempo de los pulsos y el espaciado entre ellos determina la forma en que son interpretados por el sistema TACAN. Son pulsos Gaussianos con un tiempo de subida de 2.0 µs, ancho de pulso transmitido de valor 3.5 µs ± 0.5 y tiempo de bajada de 2.5 µs. La mayoría de los pulsos TACAN son enviados como pares de pulsos para incrementar la potencia media de la señal y evitar interferencias de señales que no sean del sistema. El equipo TACAN utiliza decodifcadores que reciben pulsos con un tiempo y espaciado adecuado.

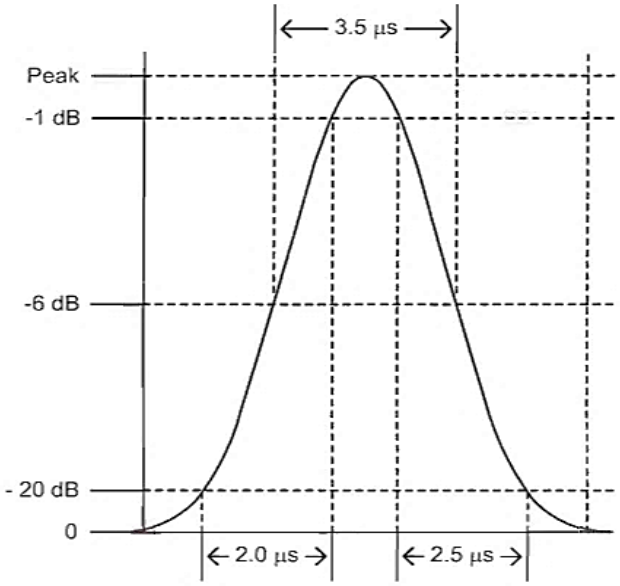


Figura 1. Pulso TACAN

Los valores de espaciado de los trenes de impulsos varían según el modo utilizado, 12 µs para el "Modo X" y 30 µs "Modo Y".

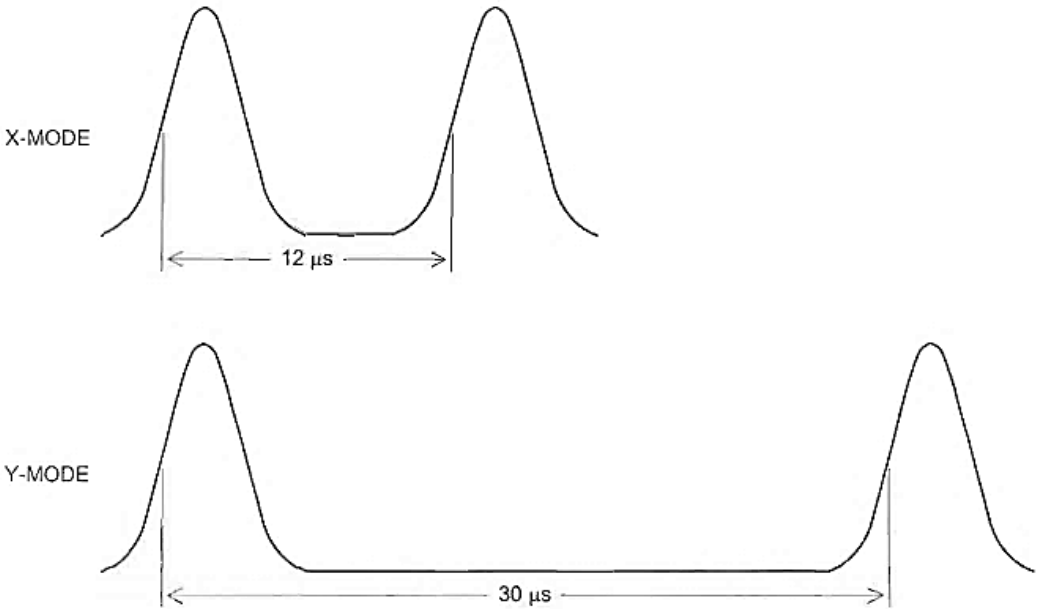


Figura 2. Pares de pulsos

El tren de pulsos de una señal TACAN incluye los siguientes elementos:

1. Pulsos para el cáculo del rumbo
2. Pulsos para la identificación de la estación terrestre
3. Pulsos para el cáculo de la distancia
4. Pulsos de relleno

Cuando la amplitud del tren de impulsos se modula entre 15 Hz-135 Hz, se forma la señal TACAN y puede ofrecer la información del rumbo, identificación de la estación y distancia al equipo TACAN aéreo.

- <u>Determinación del rumbo:</u>

  El sistema es capaz de calcular el valor de la demora o rumbo, que debe tomar la aeronave para dirigirse al transpondedor de la estación en tierra. La señal que envía el sistema TACAN, está compuesta por diferentes trenes de impulsos. Dependiendo del modo en el que se trabaje, encontramos pulsos respecto al norte magnético o pulsos auxiliares. Cuando el sistema TACAN trabaja en "Modo X ", el tren de pulsos respecto al norte magnético consta de 24 pulsos de 12 µs, con un espacio entre pares de pulsos de 30 µs. En el "Modo Y" el tren de pulsos consta de 13 pulsos espaciados 30 µs entre ellos. Si se trata del tren de pulsos auxiliares, en el "Modo X" se originan 12 pulsos de 12 µs, con un espaciado entre pares de pulsos de 24 µs, para el "Modo Y" se originan 13 pulsos de 15 µs.

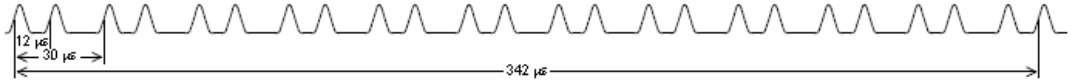


Figura 3. "Modo X" respecto al norte magnético

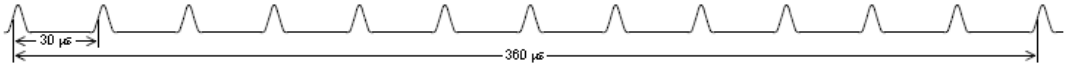


Figura 4. "Modo Y" respecto al norte magnético

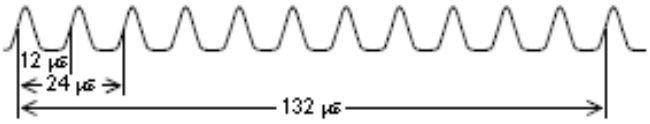


Figura 5. "Modo X" pulso auxiliar

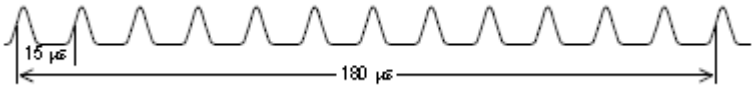


Figura 6. “Modo Y” pulso auxiliar

Se llevan a cabo diferentes etapas para realizar el cálculo de la demora. El receptor busca la señal denominada fase de referencia orientada hacía el norte magnético y marcado como 0º , y registra el número de pulsos que ha recibido. Una vez que se ha contado el número de pulsos se contabiliza el tiempo transcurrido hasta el máximo de la señal. Es en ese momento, cuando cesa la cuenta, se realiza la conversación.

$$DEMORA = \frac{360 \times \delta}{66.6667} - 90$$

- δ es el desfase de la señal compuesta por los trenes de impulsos respecto del norte magnético con el máximo de la señal modulada, medido en milisegundos.
- 360º es el factor de conversión para obtener el resultado en grados sexagesimales.
- 66.6667 es el periódo de rotación.
- 90º correción para obtener el rumbo que debe seguir la aeronave con respecto al norte magnético.

A continuación, dos ejemplos en el cálculo del rumbo:

- Una aeronovae **A** recibe la señal con un desfase de 230º, aplicando la siguiente ecuación, se obtiene:

$$DEMORA = \frac{360 \times \delta}{66.6667} - 90 = 140º$$

Por lo que el rumbo que debe seguir la aeronave con respecto al norte magnético es de 140º, representado en la figura 7.

- Una aeronave **B** , recibe la señal con un desfase de 230º , aplicando la ecuación, se obtiene:

$$DEMORA = \frac{360 \times \delta}{66.6667} - 90 = 30º$$

Por lo que el rumbo que debe seguir la aeronave con respecto al norte magnético es de 30º, representado en la figura 7.

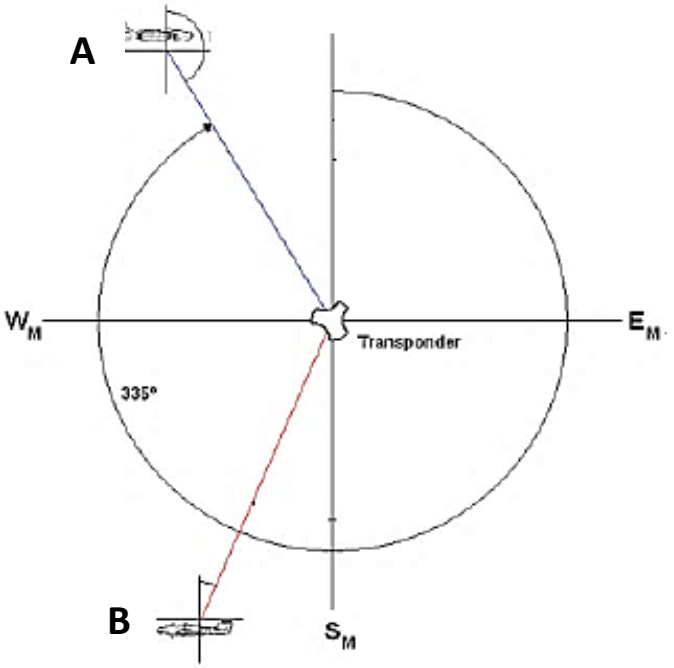


Figura 7. Rumbo desde el transpondedor

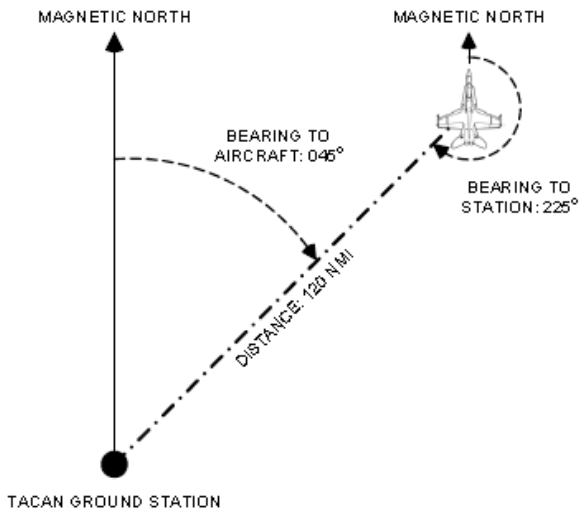


Figura 8. Norte magnético

Se calcula el rumbo con respecto al norte magnético ya que no es igual el norte magnético que el norte geográfico. Existe una desviación, llamada declinación, que es la diferencia angular que existe entre ambos. Al orientarse con el campo magnético terrestre tendremos siempre un adecuado rumbo del avión.

La posición del máximo irá variando según se va desplazando la aeronave, provocando así, que se vaya modificando a su vez la modulación de la amplitud. Las aeronaves reciben el máximo de la señal modulada a medida que se vaya girando en los 360º de azimut.

La antena se caracteriza por tener la propiedad de omnidirecionalidad, contiene un reflector central además de un grupo de nueve reflectores equitativamente espaciados. El resultado producido por estos elementos provoca una variación de la intensidad radiada afectando a la modulación de amplitud de la señal.

El elemento reflector origina un patrón de radiación en forma de cardioide. Se obtiene un lóbulo de radiación como el de la figura 9.

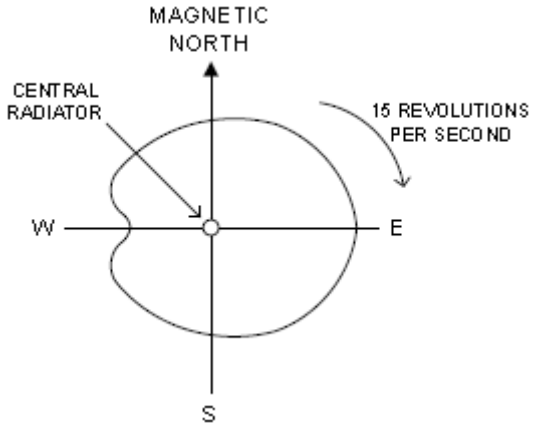


Figura 9. Cardioide sobre el cual se realiza la modulación de amplitud

El máximo se representa hacia el Este geográfico, momento en el cuál se transmite la señal respecto al norte magnético. La existencia de 9 reflectores hace que cada 40º exista un máximo, que coincidirá con la transmisión de los pulsos auxiliares. La señal de referencia orientada al norte magnético se emite con el máximo de una modulación a 15 Hz, mientras que los pulsos auxiliares se modulan a 135 Hz. En la siguiente figura se indica la amplitud de la modulación de la señal TACAN.

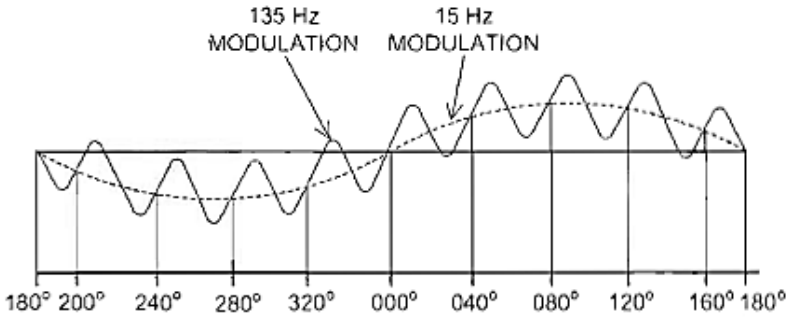


Figura 10. Modulación de amplitud señal TACAN

La figura 11 muestra la posición de las ráfagas en relación con la envolvente de modulación a 15 Hz cuando la aeronave se sitúa en el norte, este, sur y oeste de la antena transmisora.

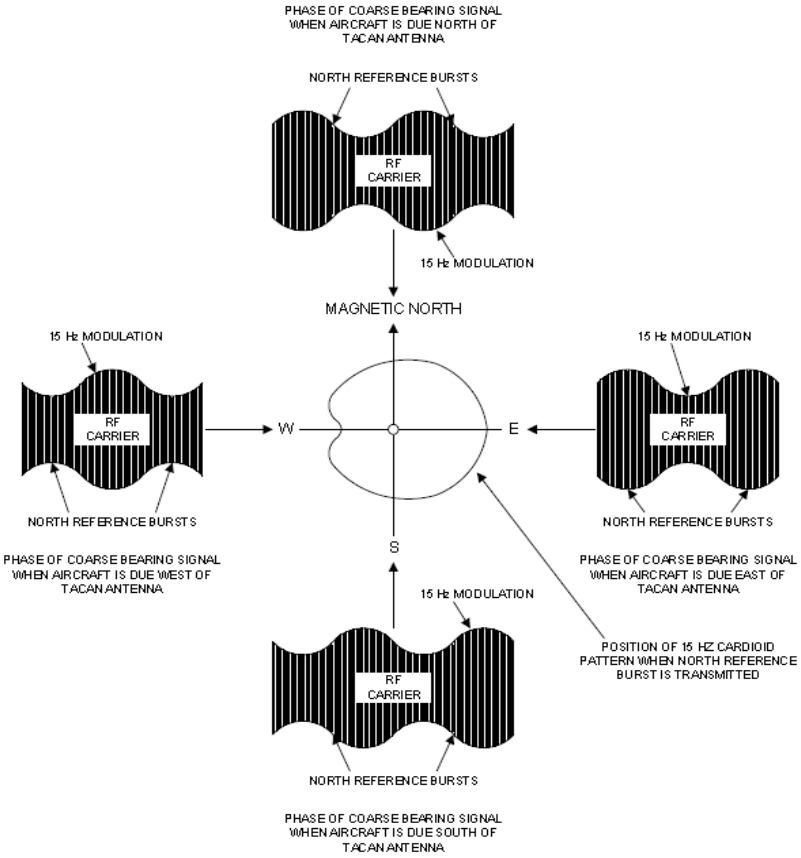


Figura 11. Señal a 15 Hz

La figura 12 muestra la posición de las ráfagas en relación con la envolvente de modulación a 135 Hz cuando la aeronave se sitúa en el norte, este, sur y oeste de la antena transmisora.

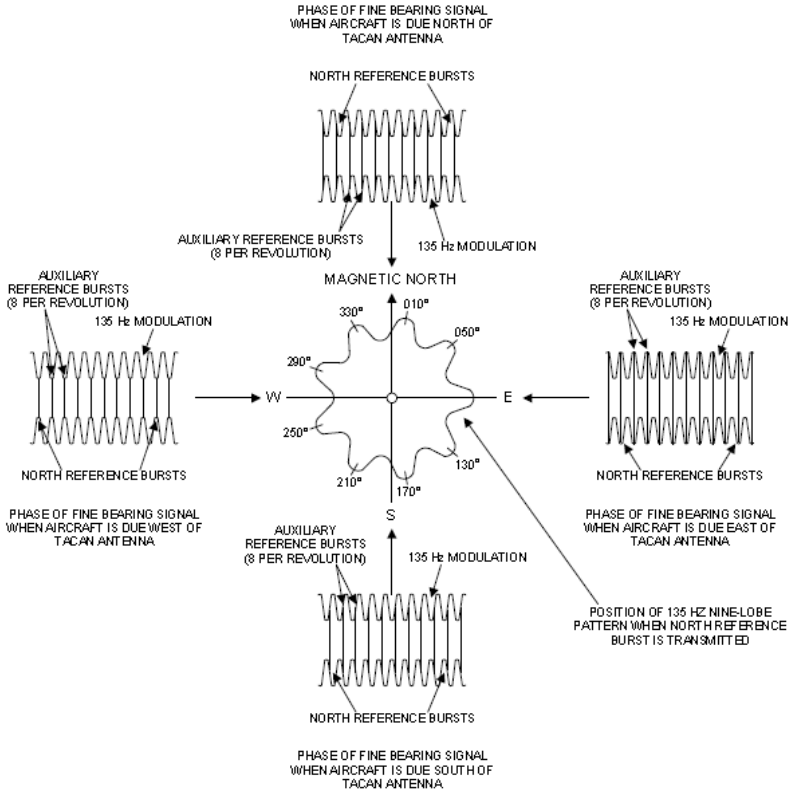


Figura 12. Señal a 135 Hz

La composición de ambas modulaciones en un instante de tiempo se repereseta en la figura 13.

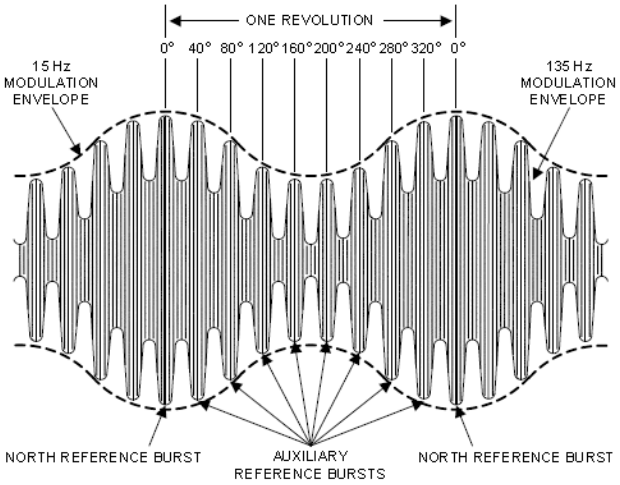


Figura 13. Envolvente de la señal a 15 Hz y 135 Hz.

Al girar los reflectores, el lóbulo girará de igual manera, de esta forma, las aeronaves recibirán el máximo de señal dependiendo de donde se encuentre en un instante u otro. Para los ejemplos descritos anteriormente, se muestran los lóbulos de radiación.

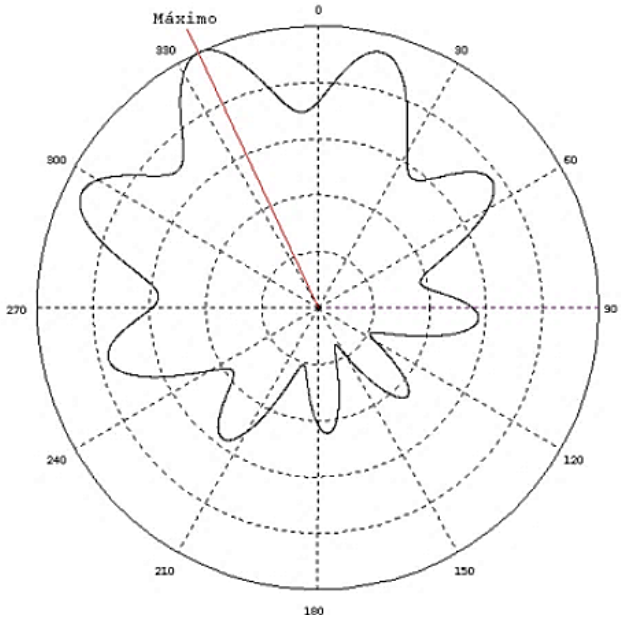


Figura 14. Lóbulo de radiación para el ejemplo **A**

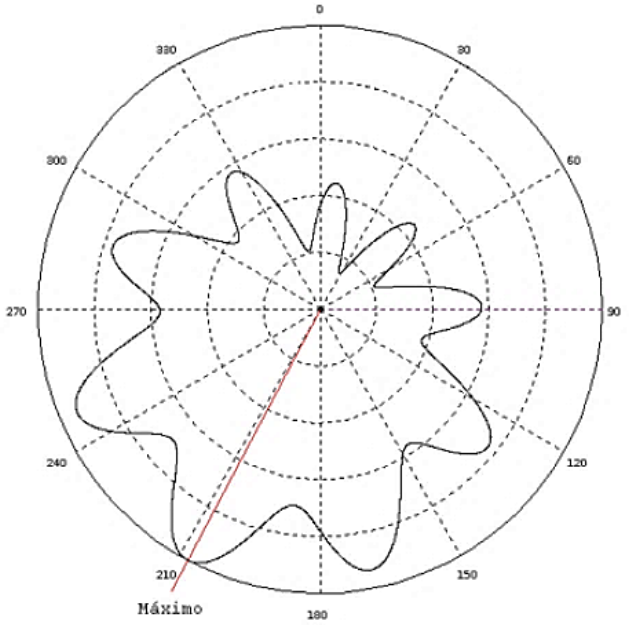


Figura 15. Lóbulo de radiación para el ejemplo **B**

El máximo del lóbulo de radiación que recibe la aeronave del ejemplo A está desfasado 230° y se muestra en diagrama polar en la figura 14, mientras que en la segunda figura se muestra el máximo lóbulo de radiación desfasado 30° para la aeronave B.

- Identificación de la estación terrestre:

La estación TACAN de tierra trasnmite un código de identificación para hacer posible que las tripulaciones aéreas puedan verificar la identidad de la estación.

El código de identificación se compone de tres o cuatro letras enviados en Código Morse. El código se puede configurar para cualquier combinación de letras y puede ser modificado siempre que sea necesario.

Los pulsos de identificación de la señal se componen de un par de impulsos que se envían cada 740 µs, a una velocidad de 1350 Hz. El espacio comprendido entre un par de pulsos para el "Modo X" es de 12 µs, con un espaciado de dos pares de pulsos de 100 µs. Para el "Modo Y" el espacio es de 30 us para cada par de pulsos y 100 µs entre dos pares de pulsos.

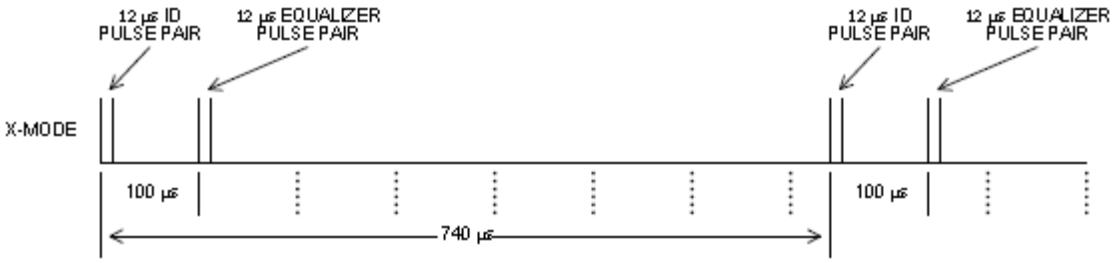


Figura 16. "Modo X", pulsos de identificación estación terrestre

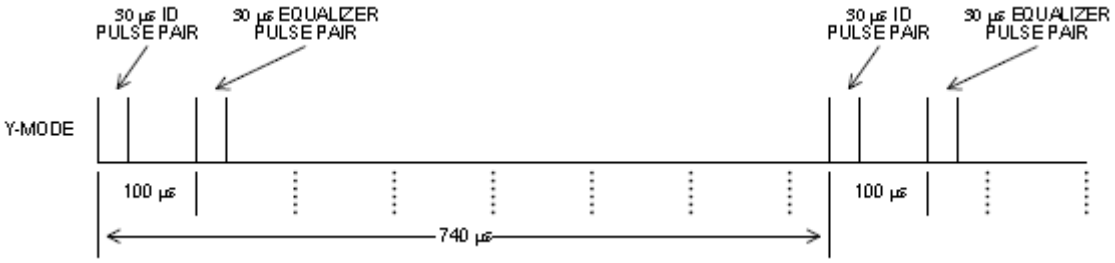


Figura 17. "Modo Y", pulsos de identificación estación terrestre

La cantidad de tiempo requerido para trasnmitir el código de identificación depende del número de letras en Código Morse seleccionadas. Para cada punto de una letra los pulsos de identificación son transmitidos cada 125 ms. Para cada guion de una letra, los pulsos de identificación se transmiten cada 375 ms. El espacio que se deja sin transmitir entre elementos es de 125 ms, el equivalente a un punto, mientras que el espacio que se deja sin transmitir pulsos entre letras es de 375 ms, lo equivalente a un guion.

El código de identificación más corto posible es: EEE con una duración de 0.625 segundos en trasnmitirse, mientras que el código más largo posible es JJJJ, cuya duración es de 7.625 segundos es transmitirse. De media, un código de identificación tarda 4.875 segundos en transmitirse.

Letter	Morse Code	Letter	Morse Code
A	. -	N	- .
B	- . . .	O	- - -
C	- . - .	P	. - - .
D	- . .	Q	- - . -
E	.	R	. - .
F	. . - .	S	. . .
G	- - .	T	-
H	. . . .	U	. . -
I	. .	V	. . . -
J	. - - -	W	. - -
K	- . -	X	- . . -
L	. - . .	Y	- . - -
M	- -	Z	- - . .

Tabla 2. Lenguaje de símbolos

A continuación se muestran dos ejemplos en la identificación de la estación:

- Si el código de identificación es AERT, el tiempo requerido para transmitir el código son 3.125 segundos, se calcula de la siguiente manera:
  A . -
  E .
  R . - .
  T –

  $TIEMPO = (4\ PUNTOS\ \times 125\ ms) + (3\ GUIONES\ \times 375\ ms) +$
  $(3\ ESPACIOS\ ENTRE\ ELEMENTOS\ \times 125\ ms) +$
  $(3\ ESPACIOS\ ENTRE\ LETRAS\ \times 375\ ms)$ = 3.125 s

- Si el código de identificación es WPSB, el tiempo requerido para trasnmitir el código son
  W . - -
  P . - - .
  S . . .
  B - . . .

$$TIEMPO = (9\ PUNTOS\ \times 125\ ms) + (5\ GUIONES\ \times 375\ ms) + (10\ ESPACIOS\ ENTRE\ ELEMENTOS\ \times 125\ ms) + (3\ ESPACIOS\ ENTRE\ LETRAS\ \times 375\ ms) = 5.375\ s$$

- Determinación de la distancia:

Se calcula midiendo el tiempo que tarda en enviarse una interrogación y recibir su correspondiente respuesta entre los equipos, interviniendo tanto el equipo situado en la aeronave como el Transpondedor, equipo de tierra o en nuestro caso en el buque. A la distancia medida entre equipos se la conoce como DME (Distance Measuring Equipment) y se calcula mediante:

$$DME = \frac{(TIEMPO\ TRANSCURRIDO - RETRASO\ DE\ SISTEMA)}{(\ 2\ \times 6.2\ \ \mu s\ )} = MILLAS\ NÁUTICAS$$

- "Retraso del sistema" es el retraso de la señal que sufre el equipo. Para todos los equipos TACAN, la variación de tiempo entre que la estación de tierra recibe una interrogación y el tiempo de respuesta es transmitida, varía según el modo utilizado. Para el "Modo X" el retraso en el sistema es de 50 µs, y para el "Modo Y" el retraso es de 56 µs, aunque en el retraso del segundo par de pulsos disminuye a 50 µs.

CANAL	Duración pulsos desde la aeronave	Duración pulsos desde el transpondedor	Retraso del primer par de pulso	Retraso del segundo par de pulso
X	12 µs	12 µs	50 µs	50 µs
Y	36 µs	30 µs	56 µs	50 µs

Tabla 3. Tiempo de espaciado y tiempo de retraso

- (2 × 6.2 µs) = 12.4, es el tiempo de ida y vuelta en µs en el que la señal electromagnética recorre 1.850 metros, 1 milla náutica.

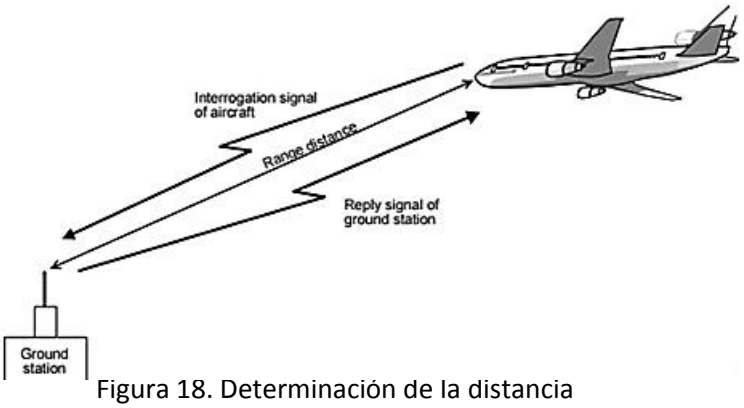


Figura 18. Determinación de la distancia

En la siguiente figura, se representa el comportamiento de los pulsos cuando se procede al cálculo de la distancia. Diferenciando los dos modos existentes, donde para el "Modo X" cada respuesta enviada por la estación de tierra consiste en un par de pulsos de 12 µs y en el "Modo Y" la duración de los pulsos es de 30 µs.

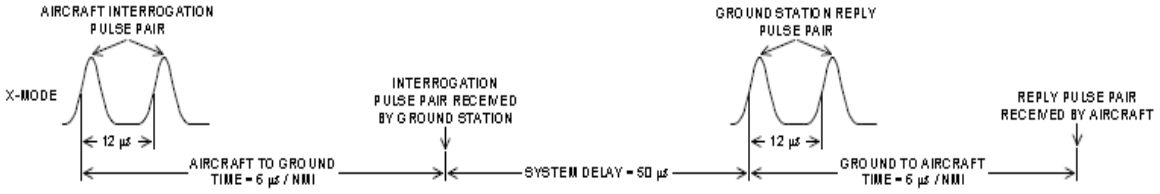


Figura 19. Distancia pulsos en "Modo X"

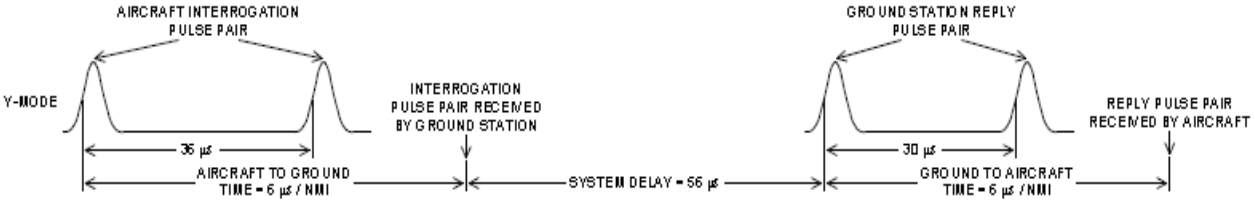


Figura 20. Distancia pulsos en "Modo Y"

A continuación, se muestran dos ejemplos en el cálculo de la distancia:

- Si el tiempo que transcurre desde la transmisión de la interrogación hasta recibir respuesta es de 2.530 µs en "Modo X" de trabajo, la distancia de la aeronave a la estación terrestre es:

$$DME = \frac{(2530\ \mu s - 50\ \mu s)}{(2 \times 6.2\ \mu s\ )} = \frac{2480}{12.4} = 200\ Millas\ Náuticas$$

- Si el tiempo que transcurre desde la transmisión de la interrogación hasta recibir respuesta es de 186 µs en "Modo Y" de trabajo, la distancia de la aeronave a la estación terrestre es:

$$DME = \frac{(186\ \mu s - 56\ \mu s)}{(2 \times 6.2\ \mu s\ )} = \frac{2480}{12.4} = 10.48\ Millas\ Náuticas$$

Dependiendo del modo en el que se trabaje, puede variar la secuencia de la información transmitida por el Transpondedor, el uso de un modo u otro es justificado por el número de aeronaves que solicitan información y el radio de acción en la que las aeronaves se encuentran respecto a la radiobaliza.

Existe una limitación en el cálculo de la distancia cuando el sistema recibe la señal de interrogación de más de una aeronave porque puede no distinguirse la respuesta con su correspondiente señal de interrogación. Para ello, cada aeronave emite una secuencia de pares de pulsos con una determinada duración y espaciado, evitando de esta manera una confusión, siendo la probabilidad de que se repita igual secuencia para dos aeronaves relativamente baja. Una vez que el transpondedor recibe esa señal, devuelve esa misma secuencia de pulsos a la aeronave confirmando que es para dicho avión ese DME.

- Pulsos de relleno:
  La potencia de la estación terrestre TACAN debe mantenerse a un nivel constante para mantener un patrón adecuado. La potencia varía con el número de impulsos por segundo que se transmiten, si el número medio de impulsos transmitidos es menor, la potencia media del equipo disminuye. Cuando se transmiten pulsos de identificación, el número de pulsos varía dependiendo del número de aeronaves que mandan señal a la estación. Para mantener el número de pulsos por segundo lo más constante posible, se añaden al tren de impulsos TACAN, unos pulsos de ruido aleatorio mientras no se estén transmitiendo los pulsos de identificación. Los pulsos aleatorios se componen en pares de pulsos de duración 12 μs para el "Modo X" y pares de pulsos de 30 μs en el "Modo Y". Estos pulsos son suficientes para mantener una media de pulsos de 7200 pulsos por segundo cuando se empieza a recibir interrogaciones de entre 0 y 100 aviones. La tasa media aumenta hasta 15.300 pulsos por segundo cuando se reciben interrogaciones de hasta 250 aeronaves. Estos pares de pulsos se añaden de manera aleatoria en los intervalos reservados con espaciado constante, para prevenir que estos pulsos estén sincronizados con los pulsos que identifican a la estación y no provocar falsas indicaciones. Un ejemplo de estos pulsos son los que se muestran en la siguiente figura.

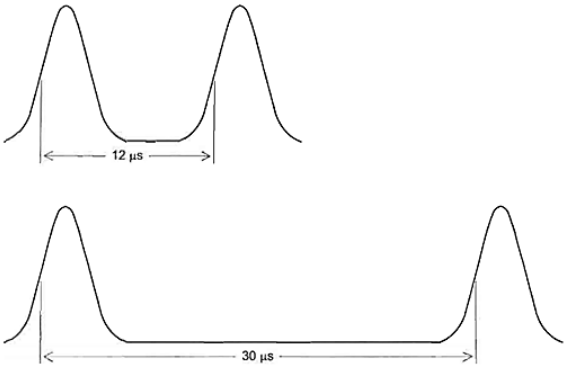


Figura 21. Pulsos auxiliares

Los diferentes pulsos que componen una señal TACAN: pulsos para el cálculo del rumbo, en cálculo de la distancia, en la identificación de la estación, pulsos auxiluares y aleatorios, deben mantenerse separados unos de otros. Para evitar interferencias entre ellos, se utiliza un sistema que prioriza cuando debe intervenir una señal u otra pudiendo bloquear la señal si no es su turno. Las prioridades que se siguen son las siguientes:

- Prioridad 1:
  Las ráfagas de pulsos que intervienen en el cálculo del rumbo de la aeronave se transmiten en intervalos precisos y están autorizadas a interrumpir cualquier otra señal en el tren de pulsos TACAN.
- Prioridad 2:
  Los pulsos que identifican a la estación, interrumpirán en el caso de ser necesario, a los pulsos que intervienen en el cálculo de la distancia y los pulsos aleatorios, pero no a los pulsos referentes al rumbo ni a los pulsos auxiliares. El tiempo requerido para transmitir las ráfagas referidas al rumbo, es relativamente menor en comparación con el tiempo utilizado en la identificación de la estación.
- Prioridad 3:
  Los pulsos que intervienen en el cálculo de la distancia sólo se transmiten en respuesta a una interrogación de los equipos TACAN instalados en las aeronaves. Sim embargo, a pesar de su baja prioridad, al menos el 70 % de las interrogaciones que se reciben de alguna aeronave son el comienzo de una réplica de transmisión, la cual es suficienre para proporcionar de una forma fiable, la información de la distancia para el qeuipo TACAN aéreo.
- Prioridad 4:
  Los pulsos de relleno se utilizan unicamente para mantener la señal modulada entre 15 – 135 Hz de amplitud. No proporcionan información alguna para la estacion TACAN, por lo tanto no tienen prioridad sobre cualquier otra señal del sistema.

El número de pulsos que contribuye en las interrogaciones, depende del número de aeronaves que están transmitiendo señal hacia el equipo TACAN terrestre. Para mantener la velocidad media se envían 7.200 pulsos por segundo mediante pulsos auxiliares al tren de pulsos TACAN. Cuando las interrogaciones se reciben de hasta 250 aeronaves, la velocidad media se incrementa, llegando a un máximo de 15.200 pulsos por segundo.

Cuando un código de identificación comienza a transmitirse, la media de pulsos es de 6.660 pulsos por segundo en el “Modo X” y 6.615 pulsos por segundo en el “Modo Y”. La media respecto al rumbo corresponde a 1.800 pulsos por segundo en el “Modo X” y 1.755 pulsos por segundo “ Modo Y”. Sin embargo uno de cada diez elementos del código de identificación es reemplazado por una ráfaga respecto al rumbo siguiendo el orden de prioridades establecido por el sistema. Por lo que la contribución real en el cálculo de la identificación de la estación es de 5.400 pps × 0.9 = 4.860 pps. Por lo tanto, la tasa total de pulsos cuando se está transmitiendo el código que identifica a la estación es de 4.860 pps + 1.800 pps = 6.660 pps en el “Modo X” y 4.860 pps + 1.755 pps = 6.615 pps en el “Modo Y”.

2.2.2 Partes del equipo

El MM-7000 es un sistema táctico de navegación aérea diseñado para ayudar a las tripulaciones en la localización de la nave en la que se encuentra instalado, proporcionando rumbo, distancia a la estación terrestre o a otra aeronave y código de identificación de la misma. La información de la distancia puede ser proporcioando a 250 aviones de forma simultánea, mientras que la información del rumbo o código de identificación de la estación se proporciona a un número limitado de aeronaves. El MM-7000 tiene diferentes configuraciones dependiento de la instalación que se requiera, en este documento se describe el diseño para su instalación a bordo de un barco donde el espacio es limitado. El sistema consta de tres unidades:

- ✓ **Transpondedor**
  Detecta y codifica las interrogaciones recibidas por el sistema TACAN aéreo. El transpondedor puede recibir y transmitir por cualquiera de los 252 canales que tiene, pudiendo ser seleccionados desde el panel de control. El área de cobertura del transpondedor es de 300 millas náuticas. En la siguiente figura se muestra el transpondedor.

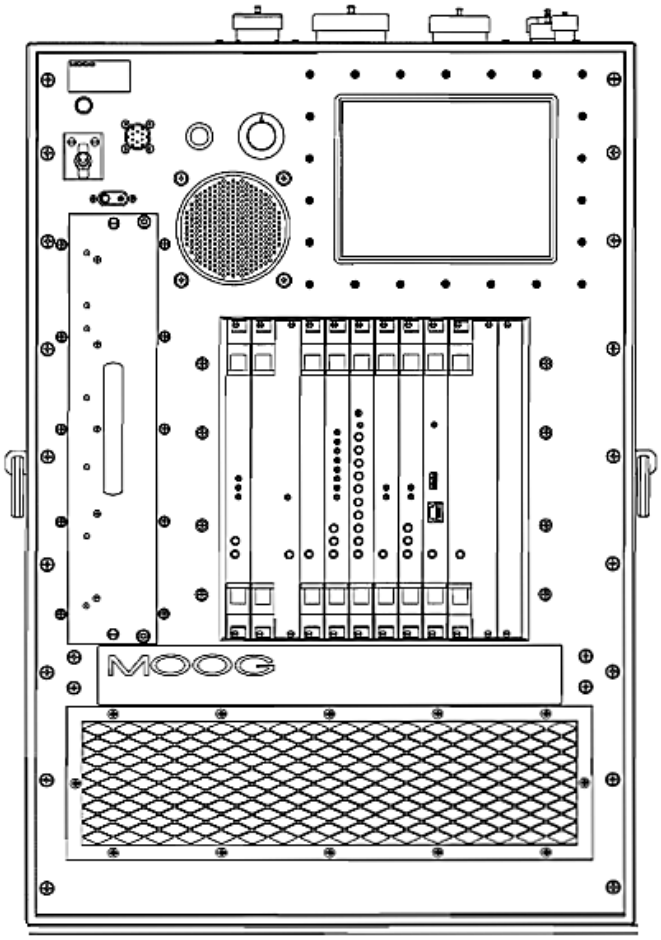


Figura 22. Transpondedor MM-7000

El sistema electrónico del transpondedor se divide en cinco partes funcionales:

- **Sección transmisora/receptora (RT)**: el conjunto receptor electrónico recibe las interrogaciones de los sistemas TACAN aéreos y detecta los impulsos, que son utilizados por el transpondedor para detectar la amplitud media de la señal y decodificar dicha señal. Se genera un impulso, que es una gaussiana de banda base analógica en forma de pulso. Esta señal es utilizada por el amplificador de baja y alta potencia para generar la respuesta de pulsos TACAN.
- **Sección monitor/interrogador:** el monitor mide y analiza diferentes parámetros para verificar si estos se encuentran dentro de los límites definidos. Si el parámetro está fuera del límite definido durante un período de tiempo, el módulo inicia una señal de alarma.
- **Amplificador de alta frecuencia (HPA):** el módulo HPA amplifica la señal de radio frecuencia, para proporcionar un nivel de potencia de salida de 1000W. Los componentes que forman este módulo controlan el nivel de las señales TACAN transmitidas y recibidas.
- **Sección de comunicación y control**: proporciona un control global del sistema, incluyendo la coordinación del transpondedor con la antena y el equipo remoto. Este modulo se encarga del control y uso de la pantalla táctil local.
- **Sección de transferencia**: el mando de transferencia controla las señales de RF hacia o desde la sección transmisora/receptora para los diversos modos de funcionamiento.

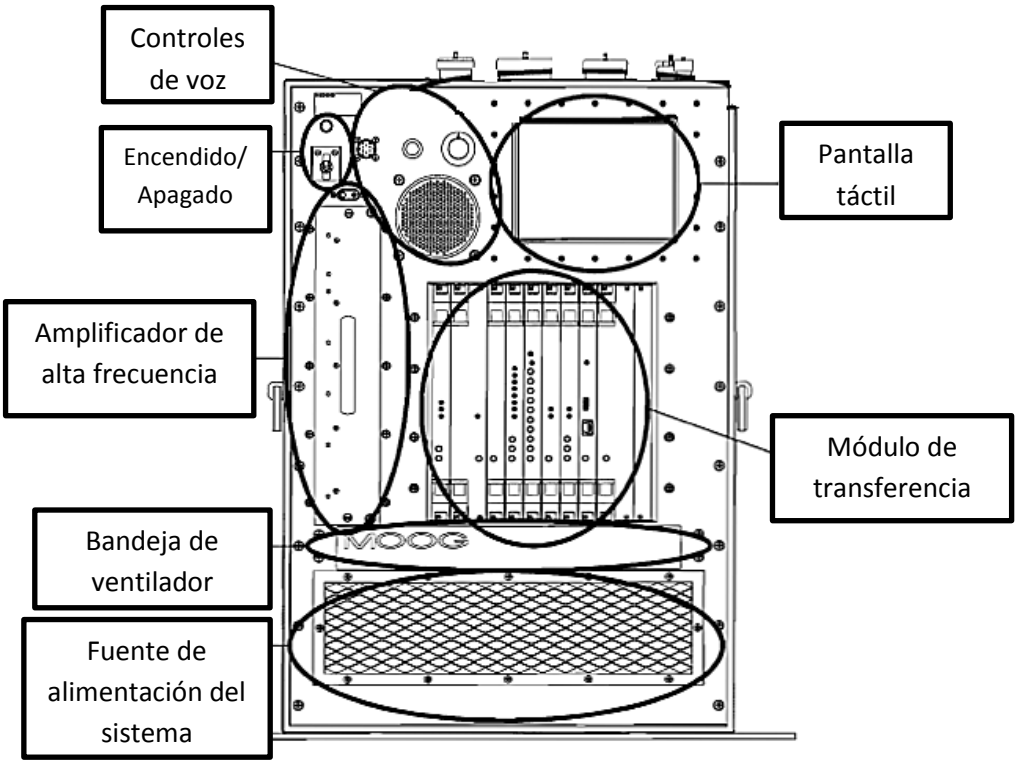


Figura 23. Secciones del transpondedor

- **Control Remoto**

Se utiliza para controlar el transpondedor MM-7000 desde una ubicación remota a través de un cable de dos pares de dos hilos. Este equipo es opcional y no se requiere obligatoriamente para un sistema TACAN completamente funcional, aunque se utiliza en la mayoría de las instalaciones.

El control remoto utiliza una pantalla táctil idéntica a la del transpondedor. La pantalla está conectada al transpondedor a través del módulo de comunicación y control, que es funcionalmente idéntico al del transpondedor.

Las partes funcionales del control remoto son: pantalla táctil, interruptor de encendido/apagado, mando de volumen, altavoz y pulsador para hablar y comunicarse con cualquier aeronave que solicite comunicación con el buque.

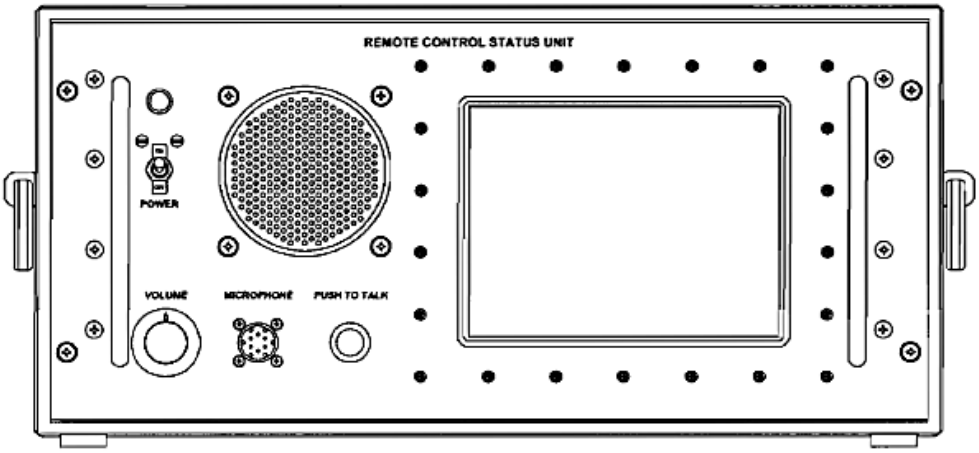


Figura 24. Control Remoto

- **Antena**

La antena recibe y transmite el tren de pulsos TACAN del transpondedor, modula la señal tanto a 15 Hz como a 135 Hz. La antena también recibe las señales de interrogación de los sistemas TACAN aéreos y comunica dichas señales al transpondedor.
La antena se divide en tres secciones principales:

- **Pedestal:** esta sección soporta el radomo y el pararrayos, y sirve como base para el montaje de la antena al mástil. En su interior se alojan igualmente varias tarjetas de comunicaciones entre la antena y el transpondedor.
- **Pararrayos:** protege la antena de la caída de rayos.

- **Radomo:** Es la cavidad donde se encuentran los elementos reflectores. En la siguiente figura se representa las nueve antenas reflectivas, que originan los 9 lóbulos del diagrama de radiación. El elemento radiante se encuentra en la parte central y es el elemento encargado de transmitir la energía al aire, este tiene la propiedad de omnidireccionalidad. Esta propiedad es fundamental ya que la antena debe proyectar la misma intensidad en todas sus direcciones. El efecto será mayor cuanto más cerca se encuentre la aeronave del elemento radiante.

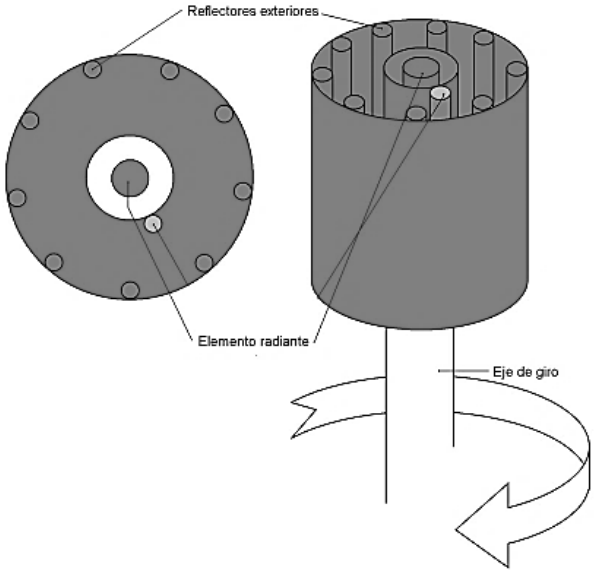


Figura 25. Antena TACAN

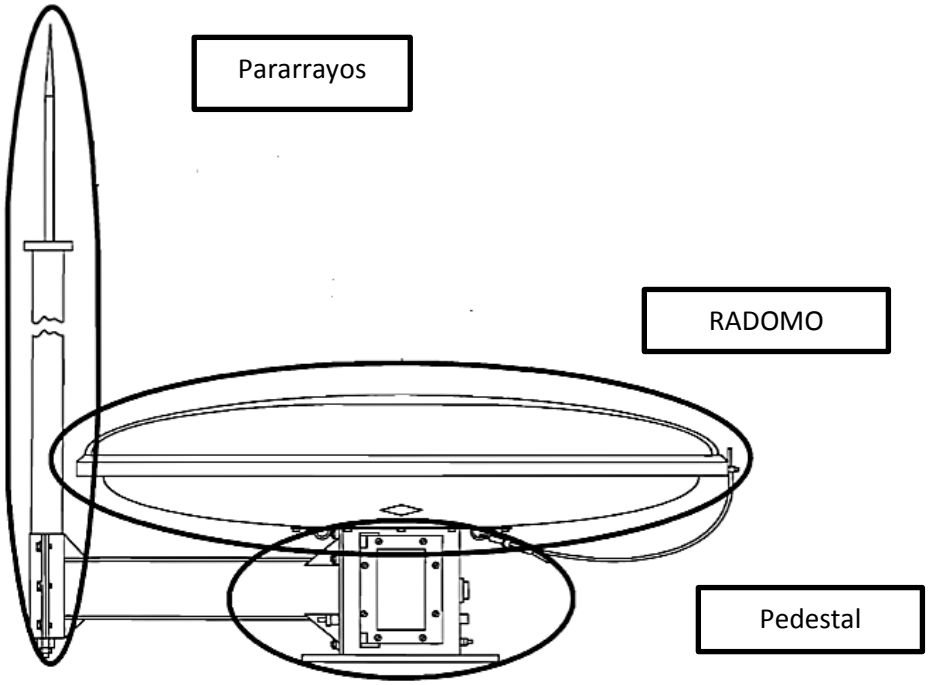


Figura 26. Partes de la antena.

En las siguientes tablas se indican las características principales de las 3 partes fundamentales de la antena.

DATOS	CARACTERÍSTICAS
Potencia de entrada	85-265 VAC, 650 Watts, Factor de potencia 0.98
Potencia pico de salida	Más de 1000 Watts de pico
Dimensiones físicas	81.3 cm x 63.5 cm x 66.0 cm
Peso	Aproximadamente 77.7 kg
Rango de temperatura	-40° ÷ +70°
Canales en los que trabaja	"Modo X" : 126 canales "Modo Y" : 126 canales
Rango de frencuencia	En transmisión: 962- 1213 MHz En recepción: 1025- 1150 MHz
Modo de operar	Modo TACAN: El sistema opera y responde a las interrogaciones de las señales de rumbo, distancia e identificación. Cuando no se reciben interrogaciones , el sistema se encuentra en modo espera, la antena no realiza barridos y el transmisor está apagado. Cuando se reciben 12 interrogaciones en 1 segundo, la antena y el transmisor se encienden en menos de 20 segundos y el sistema recibe las interrogaciones. Si las interrogaciones no se reciben durante 60 segundos el sistema vuelve al modo espera.

Tabla 4. Características Transpondedor

DATOS	CARACTERÍSTICAS
Potencia de entrada	85-265 VAC, 40 Watts, Factor de potencia 0.98
Dimensiones físicas	24.6 cm x 53.3 cm x 48.5 cm
Peso	25 kg
Rango de temperatura	-40° ÷ +70°

Tabla 5. Características Control Remoto

DATOS	CARACTERÍSTICAS
Potencia de entrada	+80 VDC, +15 VDC, -15 VDC, +10 VDC
Potencia pico de salida	3kW Max, con un ciclo de trabajo 4%
Potencia disipada	25 Watss
Dimensiones físicas	134.1 cm diámetro, 185.4 cm incluyendo pedestal y pararrayos
Rango de temperatura	Modo normal: -28° ÷ +95° Modo viento: capaz de soportar vientos continuos de 120 nudos y vientos intermitentes de 150 nudos. Modo nieve: capaz de soportar 4 kilos por metro cuadrado en horizontal y 2 kilos por metro cuadrado en vertical.
Rango de frecuencia	962 MHz - 1213 MHz, en transmisión y recepción.
Impedancia	50 Ohms
Patrón de radiación	Omnidirecional
Error de fase de azimut	Para 15 Hz : 8° máximo Para 135 Hz: 1.5° máximo

Tabla 6. Características Antena

3. Migración del sistema

El objeto de este capítulo es describir la migración a bordo del Buque L-52 “Castilla” del sistema TACAN AN/SRN-15A al TACAN MM-7000, tratando de matener en la Plataforma Naval donde ha de ser instalado la mayor parte del cableado y conjuntos mecánicos previamente existentes, correspondientes a la instalación del anterior sistema AN/SRN-15A.

El sistema MM-7000 no dispone de entrada sincrono de giroscópica (señal analógica senoidal de referencia del rumbo del buque), por lo que es necesario incluir un convertidor sincrono / digital para acondicionar esta señal al requerimiento del nuevo sistema. Este convertidor, transforma la señal analógica senoidal variable en función de la posición del barco en mensajes binarios RS 422 (“0” o “1”) para que el sistema puede identificar la señal y calcular el rumbo de la aeronave para establecer comunicación con el buque.

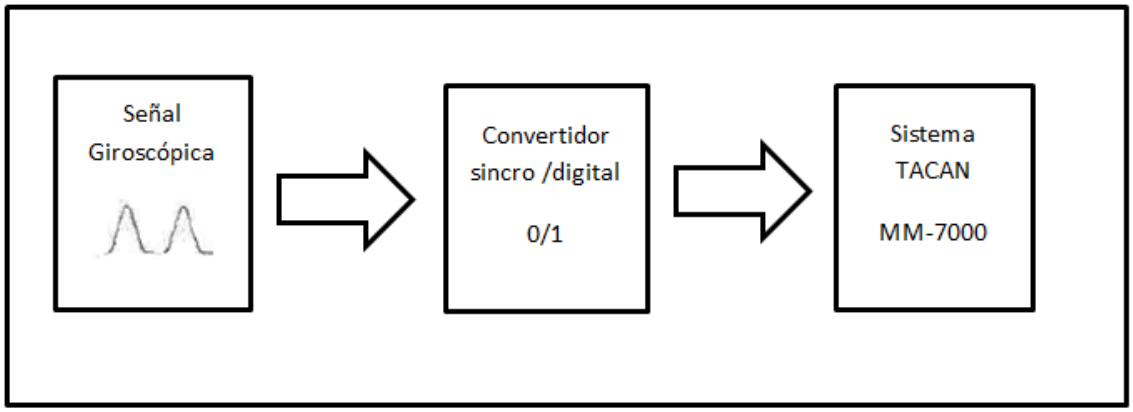


Figura 27. Esquema del proceso

Para poder realizar esta conversión, es necesario que el convertidor esté alimentado mediante una fuente de alimentación. Además, se añadirá una caja de conexiones para adaptar el cableado a la nueva instalación que conectará ambos elementos al transpondedor, situándolos en un panel cercano a los soportes del mismo. Esta caja es estanca, consta de tres prensas estopa para la entrada de los cables y una regleta de conexiones.

Figura 28. Panel próximo al Transpondedor

Al sustituir el sistema antiguo por el nuevo, figura (30), se reutiliza la base preparada para ello, pero además, es anclado a un polín mediante silembloks de goma atornillados a este. En la figura (29) se muestra el antiguo Transpondedor, de mayores dimensiones y mucho más pesado, ya que la tecnología de su desarrollo data del año 1.960. Al realizar el cambio de esta unidad se siguen manteniendo las mismas funciones que en el anterior.

Figura 29. Antiguo Transpondedor

Figura 30. Transpondedor MM-7000

Otro de los cambios efectuados a la hora de migrar el sistema, es la ubicación del Control Remoto. En el anterior sistema, esta unidad debía situarse próxima al Transpondedor, puesto que la comunicación entre ambas no permitía distancias largas. Con el cambio realizado, esta Unidad de Control Remoto se sitúa en la sala C.I.C del buque, un adelanto para los usuarios que lo manejan, puesto que les permite utilizar este sistema en la sala donde se encuentra la mayoría de los equipos de comunicaciones y control instalados en el buque.

Para la instalación de la antena, es necesario realizar la conexión del cable de R.F. según se indica en la Fig. 31, manteniendo la longitud definida. Previamente a la instalación definitiva de la antena, es necesario realizar las medidas de V.S.W.R. (Onda reflejada), del cable de R.F. mediante un Analizador Vectorial, así como comprobar el nivel y pureza de la señal recibida mediante un analizador de espectros.

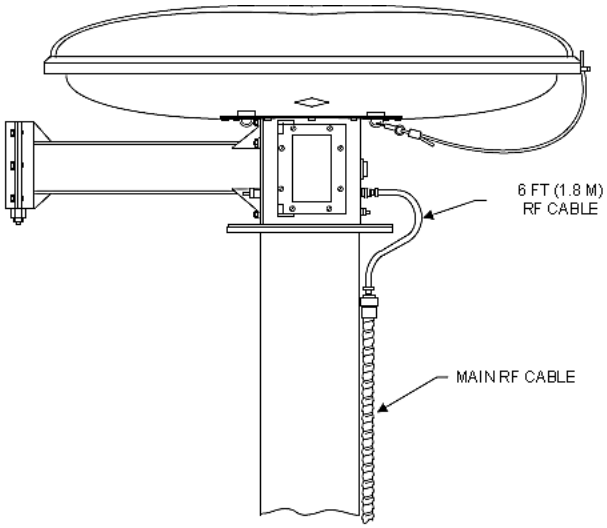


Figura 31. Antena

4. Pruebas realizadas

4.1 Pruebas de cableado y aislamiento

Debido a la migración del sistema, es necesario la instalación de nuevo cableado para la interconexión de las diferentes partes del sistema TACAN MM-7000.

Es necesario la elaboración de nuevo cableado en el mástil correspondiente a los cables de Antena Control (Señales) y Antena Power (Alimentación), se realiza la instalación de cableado desde el mástil de la antena hasta el compartimento donde está situado el sistema, llevando estos cables por los compartimentos destinados a ello.

Además, es necesario el tendido de nuevo cableado en el compartimento C.I.C para proporcionar alimentación a la Unidad de Control Remoto, alojada en esta sala de control. Para la parte del Transpondedor es necesario también tendido de nuevos cables entre el convertidor de giroscópica y el propio Transpondedor, ya que es una de las modificaciones que se ha realizado durante la migración del sistema.

Al realizar las pruebas de continuidad y asilamiento se necesitan una serie de equipos de medición.

- Multímetro, sirve para medir corrientes, tensiones, resistencia (continuidad).
- Medidor de aislamiento, sirve para medir instalaciones eléctricas y comprobar su aislamiento.

Una vez calibrados los instrumentos, se mide pin a pin por ambos extremos de los conectores, midiendo su continuidad. A continuación usando el medidor de aislamiento se comprueba el aislamiento de lo pines con respecto a tierra, según el conexionado que se indica en las siguientes tablas. Todas las pruebas se realizan a 500 V.

Estas mediciones validarán las tiradas de cables así como las soldaduras y crimpado de pines realizados en los distintos conectores instalados en el buque, que interconexionan todas las unidades del sistema TACAN.

HOJA DE EMBORNADO TACAN MM 7000					
APLICABLE A: PLATAFORMA NAVAL			CABLE TIPO:LS2SUS-19	CABLE NUM.: R-RN-5M	
W ACTI.: 27		UNIT A	P3 **ANTENA** P/N 2739188-005 (Backshell 2139298G002)		
W SPARE: 11		UNIT B	P3M **PIE MASTIL** P/N KJB6T19W32PN		
PIN UNIT A	PIN UNIT B	FUNCION	COLOR	CONTINUIDAD (OK/NO OK)	AISLAMIENTO (OK/NO OK)
Z	A	SIG LOW, DIODE SW PATTERN	BLANCO	OK	OK
a	B	SIG HIGH, DIODE SW PATTERN	NEGRO	OK	OK
R	C	SIG LOW, FRAME SYNC PULSE	BLANCO	OK	OK
K	D	SIG HIGH, FRAME SYNC PULSE	NEGRO	OK	OK
S	E	SIG LOW, LIMITED VIDEO	BLANCO	OK	OK
T	F	SIG HIGH, LIMITED VIDEO	NEGRO	OK	OK
L	G	SIG HIGH, DGTL TP FROM ANT	BLANCO	OK	OK
M	H	SIG LOW, DGTL TP FROM ANT	NEGRO	OK	OK
g	J	3KW POWER LEVEL	BLANCO	OK	OK
h	K	700W POWER LEVEL	NEGRO	OK	OK
r	L	DET RF POWER LEVEL	BLANCO	OK	OK
q	M	RET. DET RF POWER LEVEL	NEGRO	OK	OK
t	N	MUX ANALOG SIG FROM ANT	BLANCO	OK	OK
p	P	RET. MUX ANALOG SIG FROM ANT	NEGRO	OK	OK
m	R	SPARE	BLANCO	OK	OK
e	S	SPARE	NEGRO	OK	OK
X	T	SIG HIGH 553 KHZ CLOCK	BLANCO	OK	OK
Q	U	SIG LOW 553 KHZ CLOCK	NEGRO	OK	OK
W	V	SIG HIGH, DIODE SW ADDR	BLANCO	OK	OK
P	W	SIG LOW, DIODE SW ADDR	NEGRO	OK	OK
u	X	SPARE	BLANCO	OK	OK
v	Y	SPARE	NEGRO	OK	OK
w	Z	SIG HIGH, MOISTURE SENSOR	BLANCO	OK	OK
x	a	SIG LOW, MOISTURE SENSOR	NEGRO	OK	OK
k	b	135 HZ MOD SECTOR “A” SEL	BLANCO	OK	OK
b	c	135 HZ MOD SECTOR “B” SEL	NEGRO	OK	OK

HOJA DE EMBORNADO TACAN MM 7000					
APLICABLE A: PLATAFORMA NAVAL			CABLE TIPO:LS2SUS-19	CABLE NUM.: R-RN-5M	
W ACTI.: 27	UNIT A	P3 **ANTENA** P/N 2739188-005 (Backshell 2139298G002)			
W SPARE: 11	UNIT B	P3M **PIE MASTIL** P/N KJB6T19W32PN			
PIN UNIT A	PIN UNIT B	FUNCION	COLOR	CONTINUIDAD (OK/NO OK)	AISLAMIENTO (OK/NO OK)
O	d	135 HZ MOD SECTOR "C" SEL	BLANCO	OK	OK
H	e	SPARE	NEGRO	OK	OK
E	f	DIG SIG TEST POINT SEL 3	BLANCO	OK	OK
F	g	DIG SIG TEST POINT SEL 2	NEGRO	OK	OK
C	h	DIG SIG TEST POINT SEL 1	BLANCO	OK	OK
D	J	DIG SIG TEST POINT SEL 4	NEGRO	OK	OK
U		TIERRA	MALLA	OK	OK
d		TIERRA	MALLA	OK	OK
CHASIS	CHASIS	TIERRA	MALLA	OK	OK
NOTA ACLARATORIA: DEBIDO A LA LONGITUD DE LOS CABLES, LAS PRUEBAS SE REALIZAN TOMANDO EL PIN "Z" DE LA UNIDAD A, COMO COMUN Y REALIZANDO UN PUENTE CON EL RESTO DE LOS PINES.					

Tabla 7. Medidas Antena – Pie Mástil

HOJA DE EMBORNADO TACAN MM 7000					
APLICABLE A: PLATAFORMA NAVAL			CABLE TIPO:LS2SUS-19		CABLE NUM.: R-RN-5A
W ACTI.: 27		UNIT A	P6 **TRANSPONDEDOR** P/N 2739188-005 (Backshell 2139298G002)		
W SPARE: 11		UNIT B	J3M **TOPE PALO PRINCIPAL DE POPA** P/N KJB7T19W32SN		
PIN UNIT A	PIN UNIT B	FUNCION	COLOR	CONTINUIDAD (OK/NO OK)	AISLAMIENTO (OK/NO OK)
Z	A	SIG LOW, DIODE SW PATTERN	BLANCO	OK	OK
a	B	SIG HIGH, DIODE SW PATTERN	NEGRO	OK	OK
R	C	SIG LOW, FRAME SYNC PULSE	BLANCO	OK	OK
K	D	SIG HIGH, FRAME SYNC PULSE	NEGRO	OK	OK
S	E	SIG LOW, LIMITED VIDEO	BLANCO	OK	OK
T	F	SIG HIGH, LIMITED VIDEO	NEGRO	OK	OK
L	G	SIG HIGH, DGTL TP FROM ANT	BLANCO	OK	OK
M	H	SIG LOW, DGTL TP FROM ANT	NEGRO	OK	OK
g	J	3KW POWER LEVEL	BLANCO	OK	OK
h	K	700W POWER LEVEL	NEGRO	OK	OK
r	L	DET RF POWER LEVEL	BLANCO	OK	OK
q	M	RET. DET RF POWER LEVEL	NEGRO	OK	OK
t	N	MUX ANALOG SIG FROM ANT	BLANCO	OK	OK
p	P	RET. MUX ANALOG SIG FROM ANT	NEGRO	OK	OK
m	R	SPARE	BLANCO	OK	OK
e	S	SPARE	NEGRO	OK	OK
X	T	SIG HIGH 553 KHZ CLOCK	BLANCO	OK	OK
Q	U	SIG LOW 553 KHZ CLOCK	NEGRO	OK	OK
W	V	SIG HIGH, DIODE SW ADDR	BLANCO	OK	OK
P	W	SIG LOW, DIODE SW ADDR	NEGRO	OK	OK
u	X	SPARE	BLANCO	OK	OK
v	Y	SPARE	NEGRO	OK	OK
w	Z	SIG HIGH, MOISTURE SENSOR	BLANCO	OK	OK
x	a	SIG LOW, MOISTURE SENSOR	NEGRO	OK	OK
k	b	135 HZ MOD SECTOR “A” SEL	BLANCO	OK	OK
b	c	135 HZ MOD SECTOR “B” SEL	NEGRO	OK	OK

HOJA DE EMBORNADO TACAN MM 7000					
APLICABLE A: PLATAFORMA NAVAL			CABLE TIPO:LS2SUS-19	CABLE NUM.: R-RN-5A	
W ACTI.: 27	UNIT A	P6 **TRANSPONDEDOR** P/N 2739188-005 (Backshell 2139298G002)			
W SPARE: 11	UNIT B	J3M **TOPE PALO PRINCIPAL DE POPA** P/N KJB7T19W32SN			
PIN UNIT A	PIN UNIT B	FUNCION	COLOR	CONTINUIDAD (OK/NO OK)	AISLAMIENTO (OK/NO OK)
O	d	135 HZ MOD SECTOR "C" SEL	BLANCO	OK	OK
H	e	SPARE	NEGRO	OK	OK
E	f	DIG SIG TEST POINT SEL 3	BLANCO	OK	OK
F	g	DIG SIG TEST POINT SEL 2	NEGRO	OK	OK
C	h	DIG SIG TEST POINT SEL 1	BLANCO	OK	OK
D	J	DIG SIG TEST POINT SEL 4	NEGRO	OK	OK
U		TIERRA	MALLA	OK	OK
d		TIERRA	MALLA	OK	OK
CHASIS	CHASIS	TIERRA	MALLA	OK	OK
NOTA ACLARATORIA: DEBIDO A LA LONGITUD DE LOS CABLES LAS PRUEBAS SE REALIZAN TOMANDO EL PIN "Z" DE LA UNIDAD A, COMO COMUN Y REALIZANDO UN PUENTE CON EL RESTO DE LOS PINES.					

Tabla 8. Medidas Transpondedor – Palo Popa

HOJA DE EMBORNADO TACAN MM 7000					
APLICABLE A: PLATAFORMA NAVAL			CABLE TIPO:LS2SUS-7		CABLE NUM.: R-RN-6M
W ACTI.: 12		UNIT A	P2 **ANTENA** P/N 2739188-007 (Backshell 2139298G001)		
W SPARE: 2		UNIT B	P2M **PIE MASTIL**		
PIN UNIT A	PIN UNIT B	FUNCION	COLOR	CONTINUIDAD (OK/NO OK)	AISLAMIENTO (OK/NO OK)
A	A	+15 VDC	BLANCO	OK	OK
B	B	+15 VDC RET.	NEGRO	OK	OK
C	C	-15 VDC	BLANCO	OK	OK
D	D	-15 VDC RET.	NEGRO	OK	OK
E	E	LINE A 10 VDC	BLANCO	OK	OK
F	F	LINE A 10 VDC RET.	NEGRO	OK	OK
G	G	LINE B 10 VDC	BLANCO	OK	OK
H	H	LINE B 10 VDC RET.	NEGRO	OK	OK
J	J	LINE C 10 VDC	BLANCO	OK	OK
K	K	LINE C 10 VDC RET.	NEGRO	OK	OK
L	L	+5 V OVERVOLTAGE	BLANCO	OK	OK
M	M	+80 VDC	NEGRO	OK	OK
N	N	SPARE	BLANCO	OK	OK
P	P	SPARE	NEGRO	OK	OK
T		TIERRA	MALLA	OK	OK
Y		TIERRA	MALLA	OK	OK
CHASIS	CHASIS	TIERRA	MALLA	OK	OK
NOTA ACLARATORIA: DEBIDO A LA LONGITUD DE LOS CABLES LAS PRUEBAS SE REALIZAN TOMANDO EL PIN “A” DE LA UNIDAD A, COMO COMUN Y REALIZANDO UN PUENTE CON EL RESTO DE LOS PINES.					

Tabla 9. Medidas Antena – Pie de Mástil

HOJA DE EMBORNADO TACAN MM 7000					
APLICABLE A: PLATAFORMA NAVAL			CABLE TIPO:LS2SUS-7	CABLE NUM.: R-RN-6A	
W ACTI.: 12	UNIT A	P10 **TRANSPONDEDOR** P/N 2739188-006 (Backshell 2139298G001)			
W SPARE: 2	UNIT B	J2M **TOPE PALO PRINCIPAL DE POPA**			
PIN UNIT A	PIN UNIT B	FUNCION	COLOR	CONTINUIDAD (OK/NO OK)	AISLAMIENTO (OK/NO OK)
A	A	+15 VDC	BLANCO	OK	OK
B	B	+15 VDC RET.	NEGRO	OK	OK
C	C	-15 VDC	BLANCO	OK	OK
D	D	-15 VDC RET.	NEGRO	OK	OK
E	E	LINE A 10 VDC	BLANCO	OK	OK
F	F	LINE A 10 VDC RET.	NEGRO	OK	OK
G	G	LINE B 10 VDC	BLANCO	OK	OK
H	H	LINE B 10 VDC RET.	NEGRO	OK	OK
J	J	LINE C 10 VDC	BLANCO	OK	OK
K	K	LINE C 10 VDC RET.	NEGRO	OK	OK
L	L	+5 V OVERVOLTAGE	BLANCO	OK	OK
M	M	+80 VDC	NEGRO	OK	OK
N	N	SPARE	BLANCO	OK	OK
P	P	SPARE	NEGRO	OK	OK
T		TIERRA	MALLA	OK	OK
Y		TIERRA	MALLA	OK	OK
CHASIS	CHASIS	TIERRA	MALLA	OK	OK
NOTA ACLARATORIA: DEBIDO A LA LONGITUD DE LOS CABLES LAS PRUEBAS SE REALIZAN TOMANDO EL PIN “A” DE LA UNIDAD A, COMO COMUN Y REALIZANDO UN PUENTE CON EL RESTO DE LOS PINES.					

Tabla 10. Medidas Transpondedor – Palo Popa

HOJA DE EMBORNADO TACAN MM 7000					
APLICABLE A: PLATAFORMA NAVAL			CABLE TIPO:LS2SUS-7	CABLE NUM.: R-RN-2	
W ACTI.: 2		UNIT A	P7 **TRANSPONDEDOR** P/N MS3456W16S-1P (Backshell M85049/10-23W)		
W SPARE: 4		UNIT B	P2 **UNIDAD DE CONTROL REMOTO** P/N MS3456W16S-1P (Backshell M85049/10-23W)		
PIN UNIT A	PIN UNIT B	FUNCION	COLOR	CONTINUIDAD (OK/NO OK)	AISLAMIENTO (OK/NO OK)
A	A	DATA 1	BLANCO	OK	OK
G	G	DATA 2	NEGRO	OK	OK
C	C	SPARE	BLANCO	OK	OK
D	D	SPARE	NEGRO	OK	OK
E	E	SPARE	BLANCO	OK	OK
F	F	SPARE	NEGRO	OK	OK
B	B	TIERRA	MALLA	OK	OK
CHASIS	CHASIS	TIERRA	MALLA	OK	OK
NOTA ACLARATORIA: DEBIDO A LA LONGITUD DE LOS CABLES LAS PRUEBAS SE REALIZAN TOMANDO EL PIN “A” DE LA UNIDAD A; COMO COMUN Y REALIZANDO UN PUENTE CON EL RESTO DE LOS PINES.					

Tabla 11. Medidas Transpondedor – Control Remoto

HOJA DE EMBORNADO TACAN MM 7000					
APLICABLE A: PLATAFORMA NAVAL			**CABLE TIPO:**M24640/15-01UN		**CABLE NUM.:** R-RN-3
W ACTI.: 2		UNIT A	P8 **TRANSPONDEDOR** P/N MS3476W10-6S (Backshell M85049/10-11W)		
W SPARE: 4		UNIT B	**CONVERTIDOR SINCRO/DIGITAL** TERMINALES ATORNILLADOS		
PIN UNIT A	**PIN UNIT B**	**FUNCION**	**COLOR**	**CONTINUIDAD (OK/NO OK)**	**AISLAMIENTO (OK/NO OK)**
A	23	COMPASS RS422 HIGH	BLANCO	OK	OK
B	24	COMPASS RS422 LOW	NEGRO	OK	OK
		SPARE	BLANCO		
		SPARE	NEGRO		
		SPARE	BLANCO	OK	OK
		SPARE	NEGRO	OK	OK
D	25	TIERRA	MALLA	OK	OK
CHASIS		TIERRA	MALLA	OK	OK
NOTA ACLARATORIA: DEBIDO A LA LONGITUD DE LOS CABLES LAS PRUEBAS SE REALIZAN TOMANDO EL PIN “A” DE LA UNIDAD A; COMO COMUN Y REALIZANDO UN PUENTE CON EL RESTO DE LOS PINES.					

Tabla 12. Medidas Transpondedor – Convertidor Sincro/Digital

HOJA DE EMBORNADO TACAN MM 7000					
APLICABLE A: PLATAFORMA NAVAL			CABLE TIPO:M24643/43-11UN		CABLE NUM.: R-RN-13
W ACTI.: 3		UNIT A	P1 **UNIDAD DE CONTROL REMOTO** P/N MS3106F20-3S		
W SPARE: 0		UNIT B	**CUADRO SECUNDARIO** TERMINALES ATORNILLADOS		
PIN UNIT A	PIN UNIT B	FUNCION	COLOR	CONTINUIDAD (OK/NO OK)	AISLAMIENTO (OK/NO OK)
A		115 VAC	ROJO	OK	OK
C		115 VAC RET.	BLANCO	OK	OK
B		TIERRA	NEGRO	OK	OK

Tabla 13. Medidas Control Remoto – Cuadro secundario

HOJA DE EMBORNADO TACAN MM 7000					
APLICABLE A: PLATAFORMA NAVAL			CABLE TIPO:M24643/43-11UN		CABLE NUM.: R-RN-1
W ACTI.: 3		UNIT A	P9 **TRANSPONDER** P/N MS3456W22-2S (Backshell M85049/10-39W)		
W SPARE: 0		UNIT B	**CAJA DE CONEXIONES** TERMINALES ATORNILLADOS		
PIN UNIT A	PIN UNIT B	FUNCION	COLOR	CONTINUIDAD (OK/NO OK)	AISLAMIENTO (OK/NO OK)
A		115 VAC	ROJO	OK	OK
C		115 VAC RET.	BLANCO	OK	OK
B		TIERRA	NEGRO	OK	OK

Tabla 14. Medidas Transpondedor – Caja de Conexiones

4.2 Configuración del sistema

Una vez realizado el testeo y aislamiento de cables, se procede a configurar el Transpondedor del sistema.

Este trabajo es necesario que se realice por un usuario experto, donde él sea unicamente el administrador y tenga acceso a los procedimientos de configuración del sistema, aunque puede ser supervisado por otro usuario de tipo privilegio básico.

A continuación se describen los pasos que se deben seguir para comenzar a configurar el Transpondedor a través de la pantalla situada en la parte superior derecha del mismo. Al iniciar el sistema, aparece una pantalla como la figura (32), es la pantalla de configuración general, donde se indica que el sistema se encuentra en modo funcionamiento normal. Las funciones que están disponibles son:

- Potencia suministrada
- Modo demanda
- Habilitar modo aire
- Limpiar alarmas
- Resetear sistema

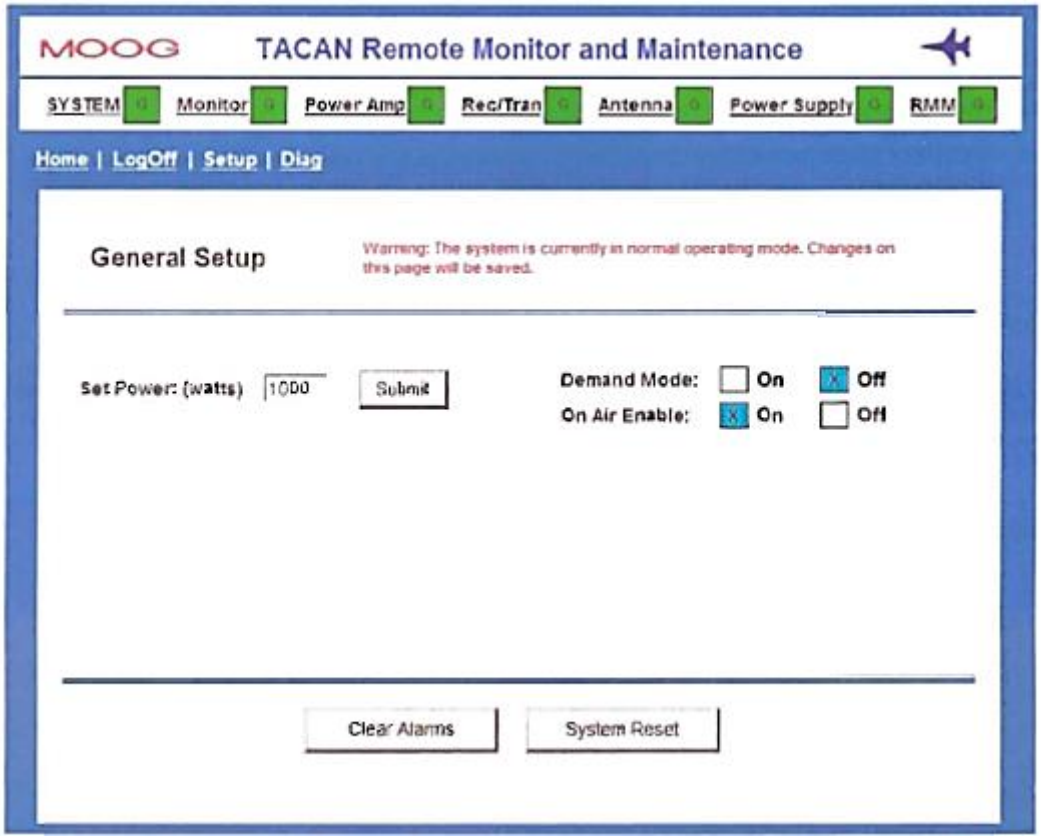


Figura 32. Pantalla de inicio del sistema

Una vez seleccionado lo anterior, aparecerá otra configuración de pantalla, figura (33), donde aparecen cinco pestañas a configurar.

- General
- Ajustes de señal
- Reglas monitor
- Modo de prueba
- Calibración

En primer lugar, se selecciona la pestaña General, en esta pestaña se configuran parámetros de carácter general del sistema.

- Localización: ubicación general del sistema.
- Canal: se puede configurar el canal, donde el rango es del 1 al 126, y el modo, que puede ser “Modo X” o “Modo Y” de trabajo.
- Código de identificación: se estable un código que identifica de forma exclusiva al sistema.
- Tiempo: establece la hora local en formato digital.
- Fecha: establece la fecha actual, cuatro dígitos para el año, dos digitos para el mes, y dos dígitos para el día.
- Potencia de salida: configura la potencia de salida del sistema en vatios, con un mínimo de 150 Watts y máximo 1000 Watts.
- Umbral : establece la cantidad que un parámetro puede variar de su valor nominal
- DME / MODO TACAN: configura el sistema para poder transmitir la información del rumbo y la distancia.
- Modo Demanda: cuando está activado este modo, los datos se transmiten unicamente en respuesta a interrogaciones de una aeronave.
- Modo aire: activada o desactivada la transmisión.
- Número de aviones: establece el máximo número de aeronaves 100 o 250, para los que el sistema puede procesar las interrogaciones.

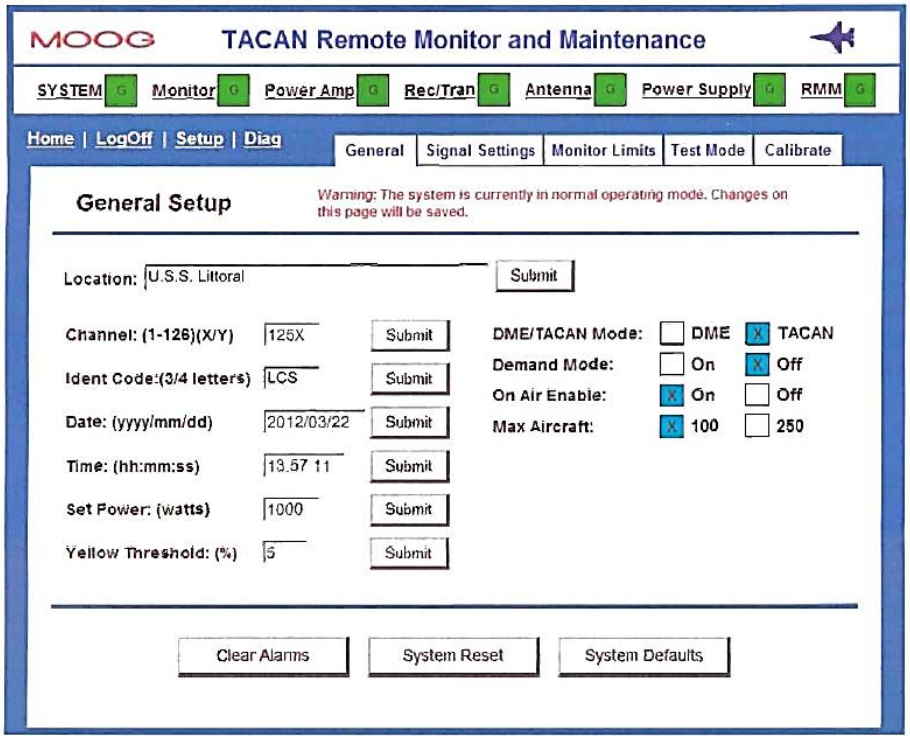


Figura 33. Pantalla de parámetros generales del sistema

Como se muestra en la figura (33), se incluyen tres pestañas más:

- ✓ Limpiar alarmas: permite borrar todas las posibles alarmas de parámetros que puedan saltar, por una mala configuración del sistema.
- ✓ Reiniciar sistema: permite reiniciar el sistema sin necesidad de hacer uso del botón de apagado. Esta opción no es posible realizarla desde la Unidad de Control Remoto.
- ✓ Restablecimiento de valores predeterminados: permite restablecer los valores de varios parámetros que vienen establecidos por defectos por el fabricante del equipo.

Una vez establecidos todos los parámetros, se configura la pestaña de ajustes de señal, esto nos lleva a la pantalla mostrada en la figura (34). Los parámetros que pueden ser configurados son:

- ✓ Retraso en la respuesta: pudiendo introducir dos valores diferentes. Para el "Modo X" de trabajo es 50 µs, y para "Modo Y" 56 µs.
- ✓ Espaciado de pulsos: donde para el "Modo X" es 12 µs entre pulsos y 20 µs para el "Modo Y".
- ✓ Asignación del espacio en el cálculo del código de identificación del sistema.
- ✓ Umbral a 6 dB.
- ✓ Orientación de la antena a 0.0 °

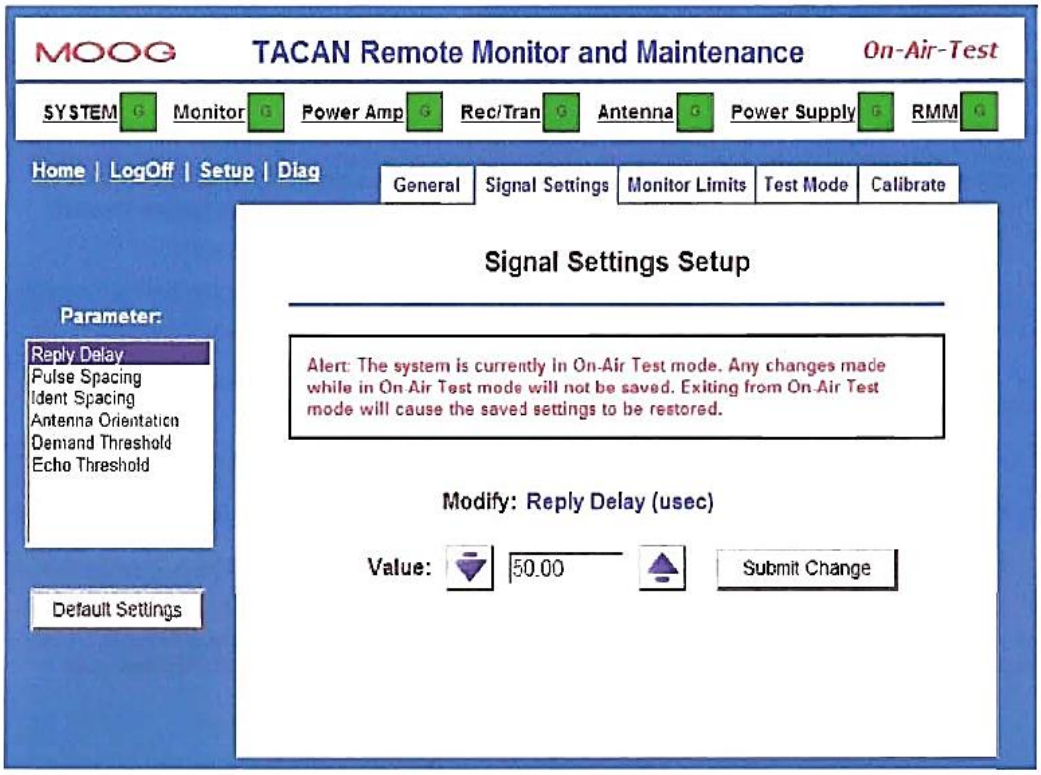


Figura 34. Pantalla de ajustes de la señal

Posteriormente, se configura la pestaña de reglas de monitorización, mostrada en la figura (35), en esta pestaña existen diferentes parámetros a configurar. En la tabla (15) se indican los diferentes valores que pueden tomar estos parámetros.

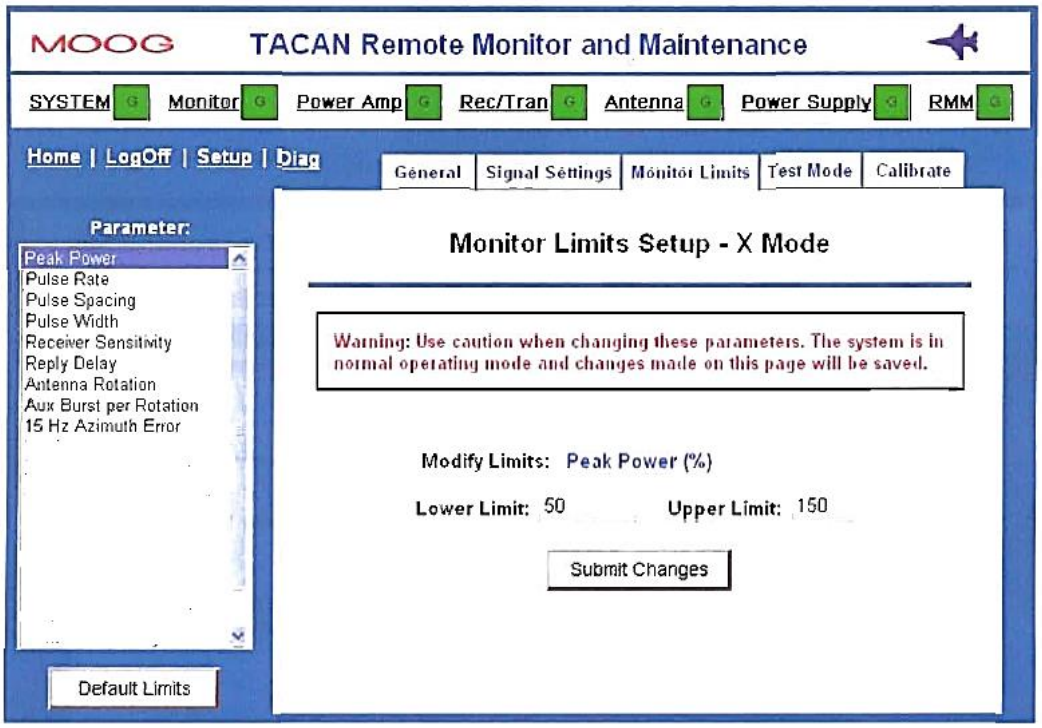


Figura 35. Pantalla reglas de monitorización

PARÁMETRO	VALOR
Máxima potencia	50% - 100%
Velocidad pulso	2610 ppps – 2790 pps
Espaciado pulso “Modo X”	11.9 µs – 12.1 µs
Espaciado pulso “Modo Y”	29.9 µs – 30.1 µs
Ancho de pulso	3.0 µs – 4.0 µs
Sensibilidad del receptor	60% - 100%
Retraso interrogaciones “Modo X”	49.5 µs – 50.5 µs
Retraso interrogaciones “Modo Y”	55.5 µs – 56.5 µs
Rotación antena	66.5 ms - 66.7 ms
Error de azimut para 15 Hz	-4 ° ÷ 4°

Tabla 15. Configuración de parámetros de monitorización

A continuación se selecciona la pestaña de modo en el aire. En este momento la pantalla cambia el icono del avión de la parte superior derecha por el texto “On- Air Test”, como se muestra en la figura (36).

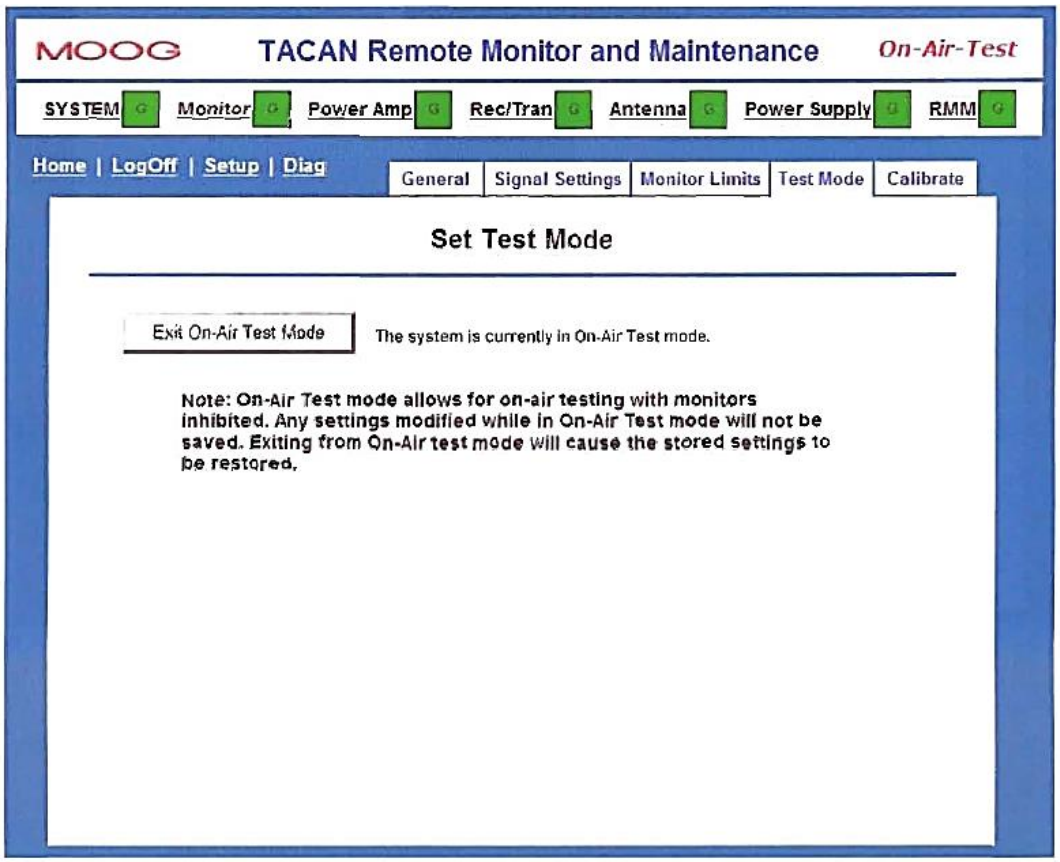


Figura 36. Pantalla configuración modo aire

Por último, se debe configurar la pestaña de calibrar. En ella aparecen cuatro posibles funciones de calibración, mostradas en la figura (37).

- Calibrar el monitor con la orientación de la antena.
- Calibrar la potencia del sistema automáticamente.
- Calibrar la potencia del sistema manualmente.
- Calibrar parámetros del sistema.

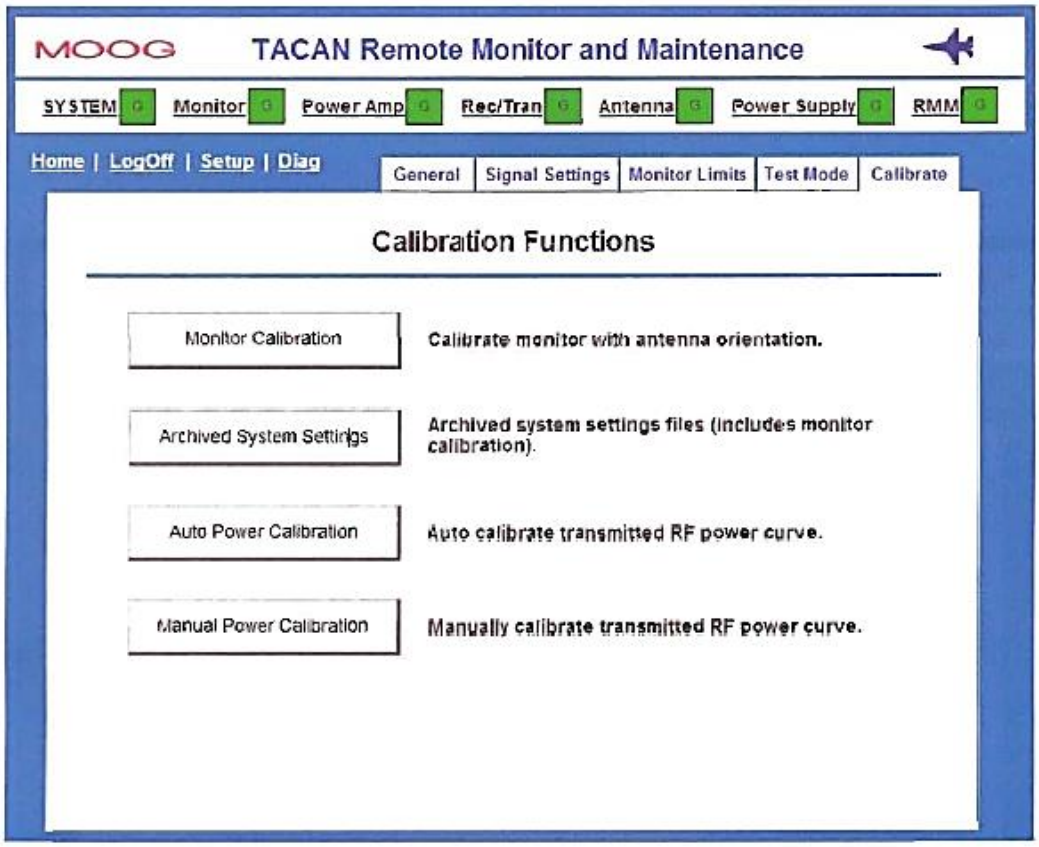


Figura 37. Pantalla funciones de calibración

Con las anteriores configuraciones, se asegura que al realizar la migración del sistema antiguo por el nuevo, se establecen de forma correcta todos los parámetros necesarios para el buen funcionamiento del equipo.

Una vez configurado, el equipo es capaz de comenzar a transmitir y recibir señales TACAN de otras aeronaves.

4.3 Pruebas HAT´S

En este apartado se describe la comprobación del funcionamiento del sistema una vez realizados los cambios. Estas pruebas se realizan previamente a las pruebas de mar, se chequea el funcionamiento de los equipos, en nuestro caso el sistema TACAN, y una vez cumplimentadas, se realiza una reunión en la que se discuten las indicencias de los equipos.

En este caso se realizarán las pruebas introduciendo al sistema los datos de salida de un emisor TACAN aéreo, extrayendo así los datos de cálculo de distancia y rumbo de la aeronave. Para realizar la verificación se capturarán los datos transmitidos por la antena.

Esta verificación será obtenida mediante la ayuda de un osciloscópio conectado al Transpondedor en diversos puntos del sistema, para comprobar así las diferentes señales que se obtienen del mismo. Debido a que el Transpondedor no dispone de capacidad de captura de datos, realizamos estas medidas de manera puntual para comprobar que con la migración del nuevo sistema, esté funciona correctamente.

La primera comprobación será la medición de los pulsos transmitidos. El valor medido será el ancho de banda, que deber ser 3.5 µs ± 0.5 µs , como se indicó en la figura 1. Si el pulso analizado se encuentra dentro de este margen, se comenzará la búsqueda de los diferentes pulsos que forman la señal TACAN.

Para explicar de mejor forma la comprobación del funcionamiento del sistema, nos ayudaremos de un flujograma.

En el flujograma se distinguen tres partes para la verificación. La primera de ellas, es la determinación de la demora, parte izquierda de la figura, la segunda recoge el escenario cuando la señal recibida no es válida y la tercera determina la distancia.

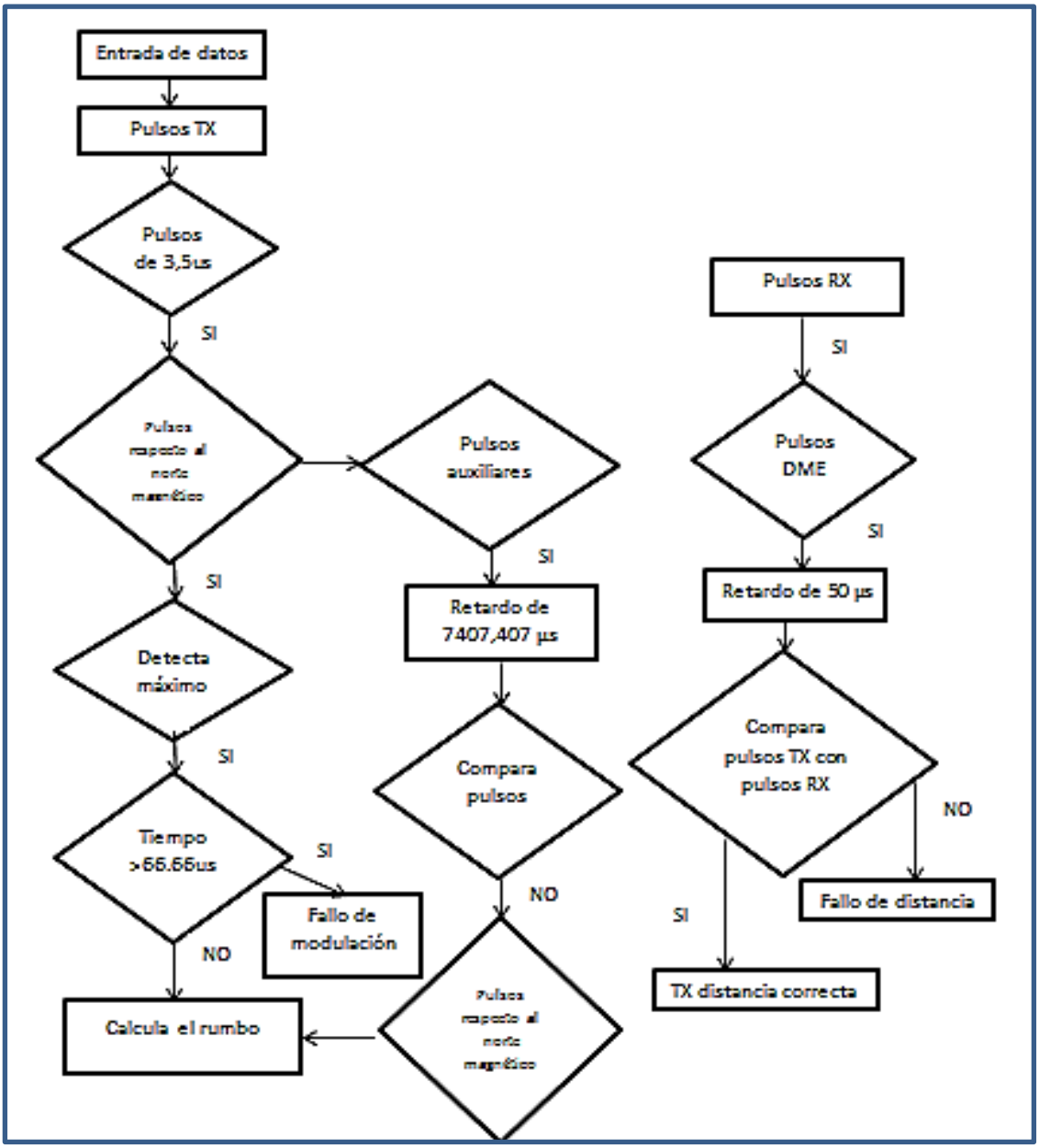


Figura 38. Flujograma de señales TACAN

A continuación se comprobarán los pulsos respecto al norte magnético que intervienen en el cálculo del rumbo. Se tendrá que localizar un grupo de 24 pulsos de 12 µs, con una separación entre pulsos de 12 µs y una separación entre pares de pulsos de 30 µs, decir que todas las pruebas realizadas con el Transpondedor se realizan en "Modo X" de trabajo.

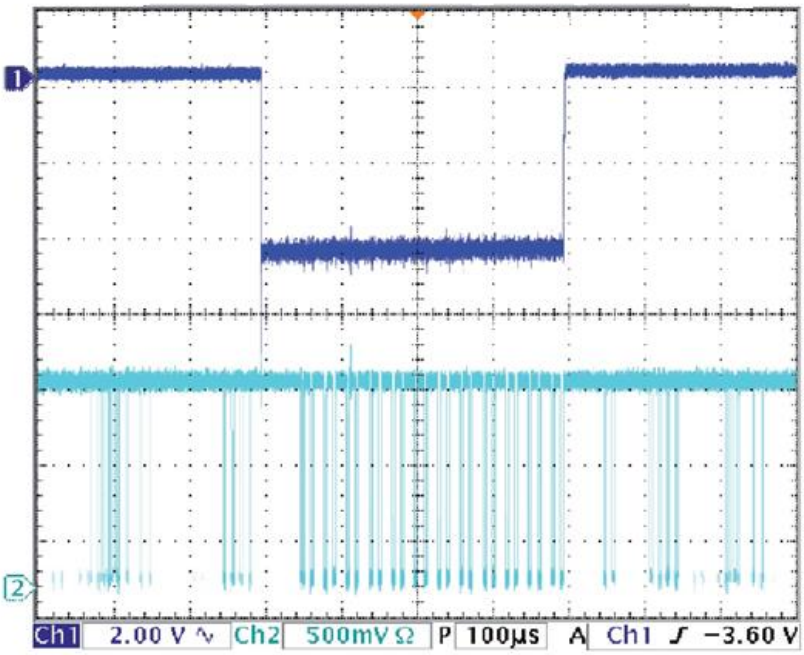


Figura 39. Captura de la señal respecto al norte magnético.

Una vez localizado el tren de pulsos respecto al norte magnético se activará un contador, programado en el sistema software del sistema, que se utilizará para contar el tiempo que transcurre desde la obtención de los pulsos de referencia hasta la detección del máximo de la señal modulada. Si el tiempo sobrepasa los 66.6667 ms, periódo de rotación de la secuencia transmitida a 15 Hz, nos enfrentamos a dos escenarios. Puede ocurrir que la modulación no se transmita de forma correcta o bien que el sistema tenga una avería y no sea capaz de calcular el rumbo a través de las señales transmitidas. En el caso de de no sobrepasar este periódo, el sistema será capaz de calcular el rumbo en la que se encuentra el TACAN con respecto a la aeronave receptora.

Si los pulsos detectados no cumplen con la forma de los pulsos respecto al norte magnético, se comprueba si estos pulsos coinciden con la estructura de pulsos auxiliares. Estos pulsos auxiliares son un grupo de 6 pares de pulsos, cuya separación entre pulsos es de 24 µs.

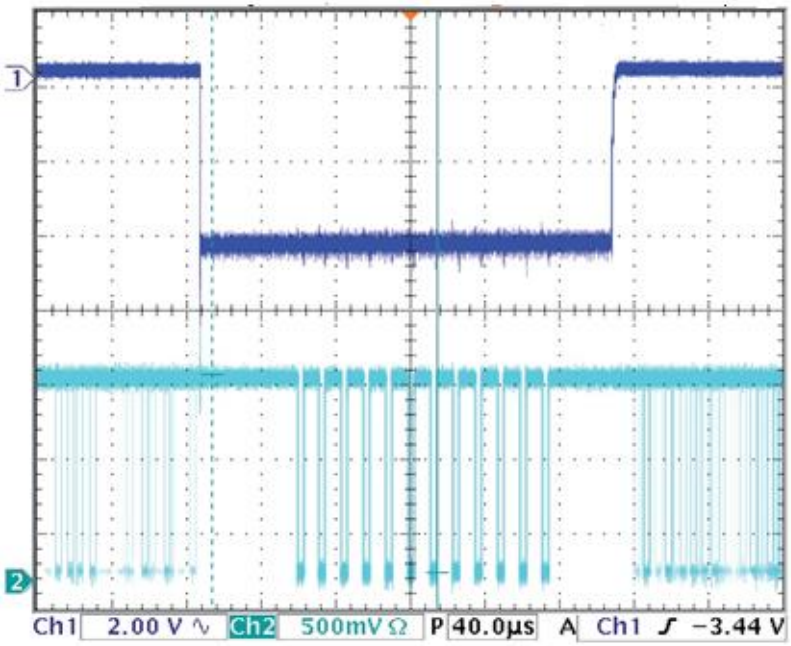


Figura 40. Captura pulsos auxiliares

Si el sistema detecta que este grupo de pulsos son pulsos auxiliares, el sistema esperará 7407, 407 µs y comprobará si el siguiente grupo de pulsos que dectete el sistema TACAN es igual que el anterior. Si el sistema detecta que son pulsos respecto al norte magnético y son correctos y cumple con las especificaciones de ancho de banda se iniciará un nuevo cálculo para determinar el rumbo de la aeronave. Si por el contrario, estos pulsos son de la forma de pulsos auxiliares, el programa esperará otros 7497, 407 µs de manera cíclica hasta que detecte los pulsos respecto al norte magnético.

Si los pulsos son correctamente detectados, pero no pertenecen a pulsos de referencia o pulsos auxiliares, se examinarán si son pulsos para determinar la distancia. En el cálculo de la distancia, hay que tener en cuenta que el sistema del buque recibe las interrogaciones de la aeronave y a continuación, se envía la respuesta para que el sistema pueda determinar la distancia a la que se encuentra la aeronave del buque. Estos pulsos que recibe la baliza, deben ser transmitidos 50 µs después. El sistema comprueba que los pulsos transmitidos para este fín son los mismos que se recibieron después de introducir el retardo correspondiente.

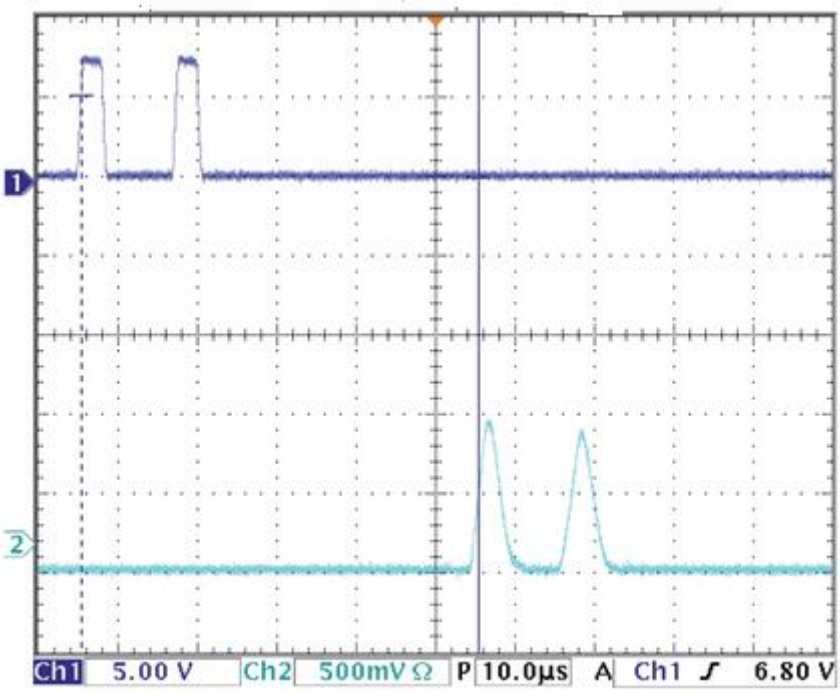


Figura 41. Retardo introducido para el cálculo de la distancia respecto a su recepción.

Una vez que se ha comprobado, el sistema comienza a determinar la distancia entre buque-aeronave.

Al margen de los pulsos referentes al cálculo del rumbo o la distancia, en las pruebas también se realiza un estudio de los pulsos de relleno. Estos pulsos se utilizan para mantener un nivel medio de pontencia, con el objetivo de recibir siempre la información con el mismo nivel de señal. Esto es necesario para que cada vez que se recibe un tren de impulsos no se desajuste el sistema y evitar la pérdida de información por saturación en el receptor.

Estas pruebas no son habituales debido a que una vez que el sistema esté en funcionamiento no es necesario comprobar mediante un osciloscopio las señales que recibe el sistema TACAN, pero como se ha dicho anteriormente, la migración del propio equipo requiere que al menos la primera vez se realice este estudio.

Las pruebas se han realizado un total de 5 veces, estas mediciones se han efectuado por diferentes tipos de operador, en la siguiente tabla se especifica la comparativa de tiempos en realizar los trabajos de verificación dependiendo el tipo de personal técnico. La primera columna muestra la definición de la tarea a llevar a cabo, la segunda las labores de verificación y en la tercera columna los tiempos medios empleados por los dos tipos de usuarios.

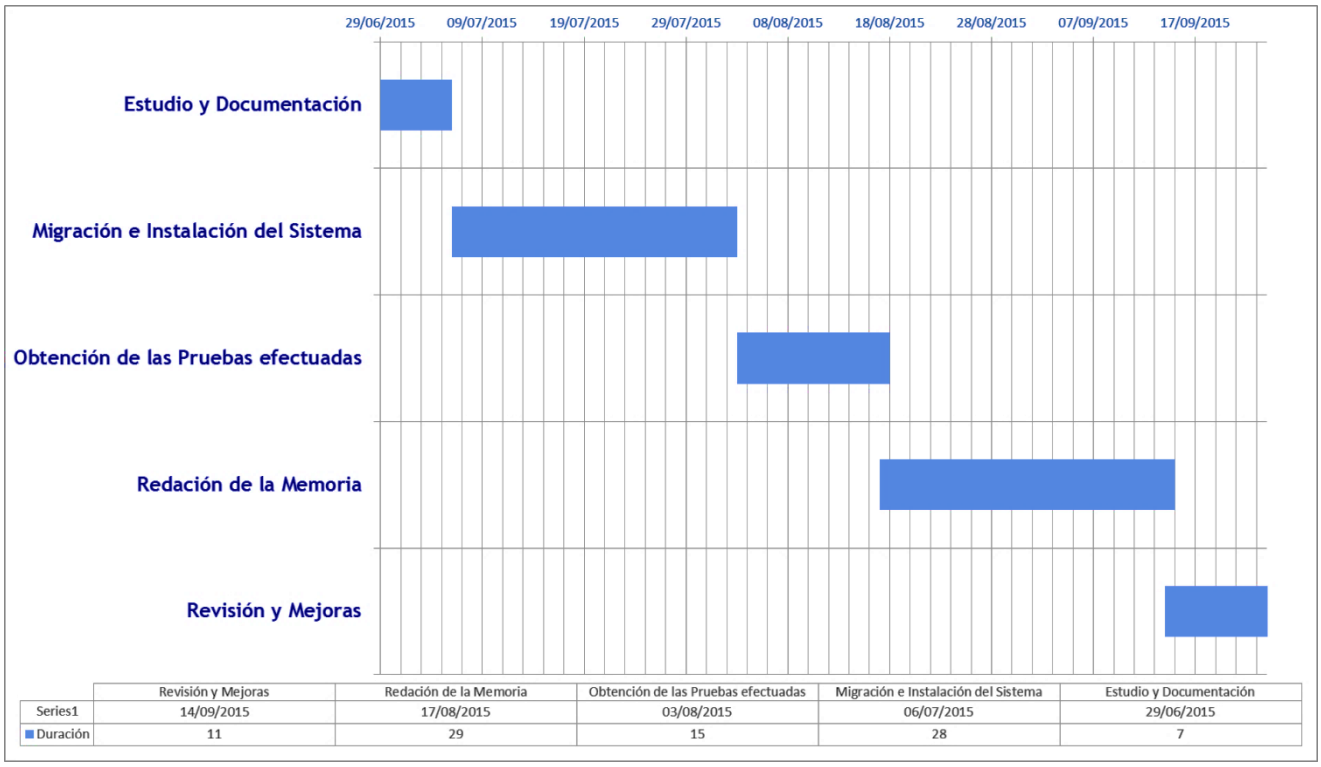
TAREA	LABORES DE VERIFICACIÓN	OPERADOR SENIOR	OPERADOR JUNIOR
Comprobación de transmisión del código de identificación	Comprobar que se transmite de forma cíclica	17 min	30 min
Localización de los pulsos respecto al norte magnético	Comprobar que los pulsos coinciden con el modo configurado	15 min	30 min
Localización de los pulsos auxiliares	Comprobar que los pulsos coinciden con el modo configurado	15 min	30 min
Comprobación de la distancia	Verificación de que la separación entre pares de pulsos se mantiene en la retransmisión de la respuesta	10 min	20 min
Pulsos de relleno	Medida de los pulsos	15 min	30 min

Tabla 16. Comparativa de tiempos en labores de verificación del sistema

5. Análisis económico

5.1 Gestión del proyecto

El proyecto se inició en el mes de Junio del 2015, se ha realizado durante 4 meses hasta finalizarlo en Septiembre de 2015. A continuación, en la siguiente figura se representan las distintas fases del proyecto y la duración de cada una de ellas.



	Revisión y Mejoras	Redación de la Memoria	Obtención de las Pruebas efectuadas	Migración e Instalación del Sistema	Estudio y Documentación
Series1	14/09/2015	17/08/2015	03/08/2015	06/07/2015	29/06/2015
Duración	11	29	15	28	7

Figura 42. Diagrama de Gantt

5.2 Presupuesto

A continuación se muestra la E.D.T. (Estrucutura Desglose de Trabajo), elaborada para realizar el cálculo de los costes del trabajo realizado. Se han considerado cuatro paquetes de trabajo princpipales, en base a la actividad realizada durante el proyecto:

- EDT – 10: GESTIÓN DE PROGRAMA
- EDT – 20: INGENIERÍA DE DESARROLLO
- EDT – 30: FABRICACIÓN Y MONTAJE
- EDT – 40: INTEGRACIÓN Y PRUEBAS

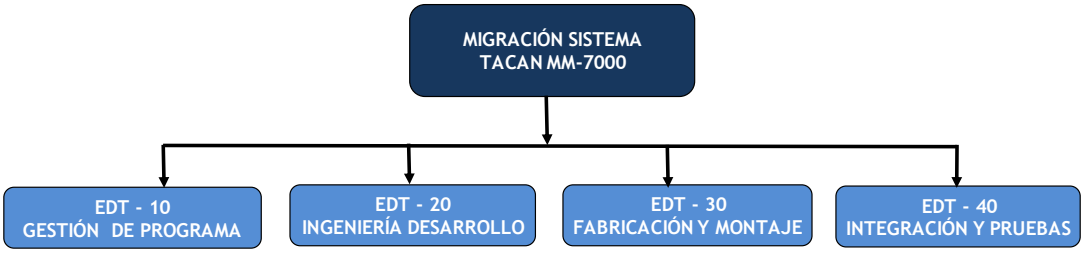


Figura 43. EDT

En la tabla 17, se indican las tarifas y recargos utlizados para el cálculo de costes de los distintos paquetes de trabajo. Los recargos establecidos del 13% como Gastos Generales y 6% como Beneficio Industrial, se corresponden con los determinados por la Administración General del Estado para este tipoo de Proyectos.

TARIFAS MANO DE OBRA	
Jefe de Programa	**49,12 €**
Ingeniero de Sistemas	**49,12 €**
Ingeniero Técnico	**40,70 €**
Técnico Electromecánico	**33,01 €**
Oficial	**27,35 €**
Técnico Soporte/Administ.	**22,00 €**
RECARGOS	
OVERHEAD	0,00%
HANDLING	0,00%
GASTOS GENERALES	13,00%
BENEFICIO INDUSTRIAL	6,00%
DIETAS Y VIAJES	
Manutención y Alojamiento	**95,00 €**
Manutención + 60 Kms	**30,00 €**
Manutención - 60 Kms	**17,00 €**
coche propio/empresa x Km	**0,36 €**
Coche alquiler	**S/factura / 0,85**
Billetes avión, tren, transporte	**S/factura / 0,85**

Tabla 17. Tarifas y recargo

En la Tabla 18, se muestra el desglose de presupuesto correspondiente al paquete de trabajo EDT- 10 Gestión del Programa, donde se han imputado las dedicaciones de los Ingenieros involucrados en esta actividad, así como los gastos de manutención y desplazamiento incurridos para el desarrollo de los trabajos.

UNIVERSIDAD CARLOS III MADRID

MIGRACIÓN SISTEMA TACAN MM-7000

DEPARTAMENTO DE PROYECTOS

DESGLOSE DE COSTES PAQUETE DE TRABAJO

Código Subestructura	*EDT 10*
Paquete de Trabajo	*Gestión de Programa*

A. Recursos Profesionales. Mano de Obra

Denominación	Nº horas	Coste	Total Coste
Jefe de Programa	100	49,12 €	4.912,00 €
Ingeniero de Sistemas	10	49,12 €	491,20 €
Ingeniero de Pruebas	0	40,70 €	0,00 €
Técnico de Laboratorio	0	33,01 €	0,00 €
Oficial	0	27,35 €	0,00 €
Técnico Soporte/Administrativo	8	22,00 €	176,00 €
		Total Mano de Obra	**5.579,20 €**

B. Materiales y Otros Costes Directos

Concepto	Cantidad	Coste	Total Coste
Materiales		0,00 €	0,00 €
Manutención y Alojamiento	0	95,00 €	0,00 €
Manutención + 60 Km´s	0	30,00 €	0,00 €
Manutención - 60 Km´s	5	17,00 €	85,00 €
Coche propio/empresa x Km	330	0,36 €	118,80 €
Coche Alquiler	0,85	0,00 €	0,00 €
Billetes Avión, Tren, Transporte	0,85	0,00 €	0,00 €
		Gastos Generales + Recargo Materiales (13%):	**26,49 €**
		Total Materiales y Otros Costes Directos:	**230,29 €**
		Beneficio industrial (6%):	**348,57 €**
		TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN PAQUETE DE TRABAJO:	**6.158,06 €**

Tabla 18. Gestión del programa

En la Tabla 19, se muestra el desglose de presupuesto correspondiente al paquete de trabajo EDT- 20 Ingeniería de Desarrollo, donde se han imputado las dedicaciones de los Ingenieros y Técnicos involucrados en esta actividad, así como los gastos de manutención y desplazamiento incurridos para el desarrollo de los trabajos.

UNIVERSIDAD CARLOS III MADRID

MIGRACIÓN SISTEMA TACAN MM-7000

DEPARTAMENTO DE PROYECTOS

DESGLOSE DE COSTES PAQUETE DE TRABAJO

Código Subestructura	*EDT 20*
Paquete de Trabajo	*Ingeniería Desarrollo*

A. Recursos Profesionales. Mano de Obra

Denominación	Nº horas	Coste	Total Coste
Jefe de Programa	0	49,12 €	0,00 €
Ingeniero de Sistemas	360	49,12 €	17.683,20 €
Ingeniero de Pruebas	80	40,70 €	3.256,00 €
Técnico de Laboratorio	40	33,01 €	1.320,40 €
Oficial	0	27,35 €	0,00 €
Técnico Soporte/Administrativo	8	22,00 €	176,00 €
		Total Mano de Obra	**22.435,60 €**

B. Materiales y Otros Costes Directos

Concepto	Cantidad	Coste	Total Coste
Materiales		0,00 €	0,00 €
Manutención y Alojamiento	0	95,00 €	0,00 €
Manutención + 60 Km´s	0	30,00 €	0,00 €
Manutención - 60 Km´s	10	17,00 €	170,00 €
Coche propio/empresa x Km	660	0,36 €	237,60 €
Coche Alquiler	0,85	0,00 €	0,00 €
Billetes Avión, Tren, Transporte	0,85	0,00 €	0,00 €
		Gastos Generales + Recargo Materiales (13%):	**52,99 €**
		Total Materiales y Otros Costes Directos:	**460,59 €**
		Beneficio industrial (6%):	**1.373,77 €**
		TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN PAQUETE DE TRABAJO:	**24.269,96 €**

Tabla 19. Ingenieria de Desarrollo

En la Tabla 20, se muestra el desglose de presupuesto correspondiente al paquete de trabajo EDT- 30 Fabricación y Montaje, donde se han imputado las dedicaciones de los Técnicos y Oficiales de montaje e instalación involucrados en esta actividad, así como los gastos de manutención y desplazamiento incurridos para el desarrollo de los trabajos.

UNIVERSIDAD CARLOS III MADRID

MIGRACIÓN SISTEMA TACAN MM-7000

DEPARTAMENTO DE PROYECTOS

DESGLOSE DE COSTES PAQUETE DE TRABAJO

Código Subestructura	*EDT 30*
Paquete de Trabajo	*Fabricación y Montaje*

A. Recursos Profesionales. Mano de Obra

Denominación	Nº horas	Coste	Total Coste
Jefe de Programa	0	49,12 €	0,00 €
Ingeniero de Sistemas	0	49,12 €	0,00 €
Ingeniero de Pruebas	0	40,70 €	0,00 €
Técnico de Laboratorio	80	33,01 €	2.640,80 €
Oficial	80	27,35 €	2.188,00 €
Técnico Soporte/Administrativo	8	22,00 €	176,00 €
		Total Mano de Obra	**5.004,80 €**

B. Materiales y Otros Costes Directos

Concepto	Cantidad	Coste	Total Coste
Materiales		32.000,00 €	0,00 €
Manutención y Alojamiento	0	95,00 €	0,00 €
Manutención + 60 Km´s	0	30,00 €	0,00 €
Manutención - 60 Km´s	0	17,00 €	0,00 €
Coche propio/empresa x Km	330	0,36 €	118,80 €
Coche Alquiler	0,85	0,00 €	0,00 €
Billetes Avión, Tren, Transporte	0,85	0,00 €	0,00 €
		Gastos Generales + Recargo Materiales (13%):	**15,44 €**
		Total Materiales y Otros Costes Directos:	**134,24 €**
		Beneficio industrial (6%):	**308,34 €**
		TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN PAQUETE DE TRABAJO:	**5.447,39 €**

Tabla 20. Fabricación y Montaje

En la Tabla 21, se muestra el desglose de presupuesto correspondiente al paquete de trabajo EDT- 30 Integración y Pruebas, donde se han imputado las dedicaciones de los Ingenieros, Técnicos y Oficiales de montaje e instalación involucrados en esta actividad, que ha sido desarrollado en su mayor parte a bordo de la Plataforma Naval, así como los gastos de manutención y desplazamiento incurridos para el desarrollo de los trabajos.

UNIVERSIDAD CARLOS III MADRID

MIGRACIÓN SISTEMA TACAN MM-7000

DEPARTAMENTO DE PROYECTOS

DESGLOSE DE COSTES PAQUETE DE TRABAJO

Código Subestructura	*EDT 40*
Paquete de Trabajo	*Integración y Pruebas*

A. Recursos Profesionales. Mano de Obra

Denominación	Nº horas	Coste	Total Coste
Jefe de Programa	8	49,12 €	392,96 €
Ingeniero de Sistemas	24	49,12 €	1.178,88 €
Ingeniero de Pruebas	24	40,70 €	976,80 €
Técnico de Laboratorio	24	33,01 €	792,24 €
Oficial	10	27,35 €	273,50 €
Técnico Soporte/Administrativo	0	22,00 €	0,00 €
		Total Mano de Obra	**3.614,38 €**

B. Materiales y Otros Costes Directos

Concepto	Cantidad	Coste	Total Coste
Materiales		0,00 €	0,00 €
Manutención y Alojamiento	0	95,00 €	0,00 €
Manutención + 60 Km´s	0	30,00 €	0,00 €
Manutención - 60 Km´s	0	17,00 €	0,00 €
Coche propio/empresa x Km	210	0,36 €	75,60 €
Coche Alquiler	0,85	0,00 €	0,00 €
Billetes Avión, Tren, Transporte	0,85	0,00 €	0,00 €
		Gastos Generales + Recargo Materiales (13%):	**9,83 €**
		Total Materiales y Otros Costes Directos:	**85,43 €**
		Beneficio industrial (6%):	**221,99 €**
		TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN PAQUETE DE TRABAJO:	**3.921,80 €**

Tabla 21. Integración y Pruebas

Finalmente, en la Tabla 22, se muestra el presupuesto general del proyecto, sumarizando todos los paquetes de trabajo desglosados anteriormente.

UNIVERSIDAD CARLOS III MADRID

MIGRACIÓN SISTEMA TACAN MM-7000

DEPARTAMENTO DE PROYECTOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OFERTA

Cliente	***ARMADA ESPAÑOLA***
Proyecto	***MIGRACIÓN TACAN***
Código oferta	***076-2015***

DESGLOSE DE COSTES POR PAQUETE DE TRABAJO

Paquete	Denominación	Coste Total
EDT10	Gestión de Programa	6.158,06 €
EDT20	Ingeniería Desarrollo	24.269,96 €
EDT30	Fabricación y Montaje	5.447,39 €
EDT40	Integración y Pruebas	3.921,80 €
	Presupuesto ejecución Proyecto:	39.797,21 €

Tabla 22. Presupuesto de Ejecución.

6. Conclusions

6.1 General conclusions

Throughout this TFG, it has been evaluated the need of carrying out the periodical verification of the TACAN System, with the aim of improving its outputs. Because of this, it has been done the migration of the system.

The realisation of this project is done after it has been analysed the situation of the aeronautic market. In spite of the economic crisis situation, this projects gain relevance since the Defence Ministry has progressively reduced its budget since 2009, and this tendency is expected to continue. This causes the existence of projects in which the goal is trying to maintain the equipment installed in the aircrafts to avoid being all substituted by new ones, saving investment costs.

By the development of this kind of projects, it is covered the need of reinforcing the aeronautic industry of maintenance that now exists on the national area.

In this document, I have explained the migration of a TACAN system installed in an Armada ship, but these systems are found in every type of manned crafts. Because of this, in the future it will be able to present this project in other types of aircrafts.

During the realisation of this project, different sceneries are presented. First of all, a study of the composition and operation of the equipment was done, explained in this document, with the objective of analysing the difficulties it may appear. After that, the migration of the system was carried out, taking to account all the needed changes that the exchange of a system by the other means. The main parts of the wiring and mechanical elements existent in the previous installation were used. An important change that has been produced during the migration of the system is the added synchronous/digital converter, due to the fact that the new system needs digital information of the ship course, not available nowadays in the platform where the project has been executed.

With respect to the tests done, it is underlined the importance of the wiring check, since the wiring connexion between them has to be verified when the wiring between the system parts are changed. In the case of the connexion between the antenna and the transponder, the testing must be done before affixing the antenna to the mast, just in case it would be needed to change the wiring because of a connexion fail. It is also important to verify the wiring testing between the antenna-transponder in a same day to save costs on the hiring of a crane used to climb the antenna to the mast. It must be specifically mentioned the test with digital oscilloscope, of all signals of emitted pulses, and received by the transponder through the antenna with the aim of resolving the correct working of the System.

For the execution of the HAT's tests, it was necessary to elaborate a document where all the data collected during the tests were registered, and it is given to the Armada, so that it can be used as a proof when the final execution of the work is certificated. When this project is ended, it is possible to do the verification o migration of the TACAN system in other types of aircrafts.

6.2 Future lines

Once this project is done, the future investigation lines are:

- Having done with success the first migration of the System in a Naval Platform, it is opened the possibility of developing the migration of the TACAN system in every aircraft or military-used ship which needs to be renovated, achieving better outputs and an appropriate maintenance of the equipment, which allows to prolong the life cycle of these systems, without the need of substituting all the system.
- The TACAN system cannot be substituted by other positioning system such as the GPS in the military sphere, even though it is viable in the civil sphere with certain restrictions. The GPS is constituted by 24 satellites of free access and civil control. For military used, this is not practicable nor secured, due to the fact that the course and distance information between TACAN systems must be confidential and it is highly risky to depend on a civil satellite to carry out the communication between them, as it can be blank moments where there won't be signal of any of the two equipment. This implies that, by the moment, it cannot be substituted by other system where the communications can be intercepted, keeping, like this, completely confidential parameters.
- The future of this system is reduced to improve its outputs in relation to the mechanical and electrical parts. The case of one of the changes done in the migration is the added synchronous/digital converter to the transponder unit. Referring to the antenna, and depending on the state of the R. F. technology art, it will be able to progress in its construction, reducing space, weight and consume, so important for the special location of this unit at the Platform, making easy its installation on smaller chips.
- With respect to the maintenance, a viable improvement to implement would consist on providing the System a "BYTE", so that it would be able to identify the errors and breakdowns that could be produced in the operation. It would imply a study and an analysis of the circuits used to "forecast" the possible errors and its causes (broken down Units), mitigating the maintenance actions and reducing the reparation costs.

7. Bibliografía

[1] Wikepedia “Sistema TACAN”

[2] Manual Técnico TACAN “ AS-3240A/URN”

[3] Manual Técnico TACAN “ MM-7000”

[4] Artículo “Desarrollo de un sistema experto para ayudar a la verificación del sistema TACAN”

[5] Artículo “ Características técnicas de los sistemas de radionavegación aeronáutica no OACI que funcionan entorno a 1 GHz y criterios de protección de los mismos.

[6] deFaymoreau E. “Experimental Determination of TACAN Bearing and Distance Accuracy”. IRE Transactions on Aeronautical and Navigational Electronics

[7]“Historia de la aviación “ Disponible en web: http://laaviación.webatu.com/avicion/historia-de-la-aviacion.htm

[8] Manual de Instalación Sistema TACAN

ANEXO

Abstract

TACAN system is an air navigation one mainly used for military purposes. This document explains the migration and installation of TACAN MM-7000 system, which has been done on board of a Spanish Armada ship.

The aeronautic market is vital for the States' economy. Consequently, the development of these projects exists given the high demand of massive investments in new systems or their maintenance.

Because of the socio-economic situation that Spain is going through, the aeronautic sector is mainly focused on the maintenance of previously developed systems reducing the evolution of industry in this sector.

The maintenance and the repairs carried out in an aircraft in its life cycle are mostly expensive complexes. However, the necessity of subcontracting private enterprises for the execution of these works has come up on account of these activities.

Firstly, the system, its operation and some of the most important components such as the directive antenna used, will be explained. Secondly, a study about the tests performed on board the ship and the tools utilized by the technical personnel will be done.

Finally, the necessary budget to tackle this type of work will be analyzed.

System description and migration

TACAN system was born as an air navigation system for military use. Its origins date from 1949 and since its very beginning, it has not suffered variations in technology used in its creation.

It was developed thanks to postal servicies in United States, considering that large areas had to be covered to receive the correspondence. First advances consisted on using intermitent headlights to lead the aircrafts that transported the post. Over the years, this method changed and air navigation systems started to be installed, radio beacons that broadcast in very low frequency bands, placed every 200 nautical miles. This technique had the emission of two Morse code signals, which became fused when the aircraft took the right direction or emitted a noise if there was a bearing deviation.

Numerous methods were used until the creation of VOR system. This air navigation system is used in aircrafts to follow the flight in a pre-established route. The system is formed by a VOR terrestrial station placed in fixed post such as airports with an antenna that emits a radio frequency signal which is received by the VOR systemof the aircraft. This system receives three signals. One of them let the pilot identify the terrestrial station and the other two to know the aircraft direction and distance to the terrestrial station.Tacan system is VOR system versión in a military background but evolved with the better output and saving data and confidential parameters due to military use.

Nowadays, this system is vital because of its use in rescue efforts, supervision, conflagrations or catastrophes supply.

Related to its working, TACAN system is designed to provide the distance, direction and an identifying code of the terrestrial station or the one placed in a ship. TACAN system can supply the information until a máximum number of 250 aircrafts simultaneously in the distance calculation and until 100 aircrafts in the direction calculation.

TACAN signa lis formed by a pulse train. They are Gaussian pulses with a rise time of 2.0 µs, pulse width transmitted of 3.5 µs ± 0.5 and fall time of 2.5 µs. Most of the TACAN pulses are sent as pulse pairs to increase the mean power signal and avoid interferencesof signals that are not from de system. A TACAN pulse is shown in next figure.

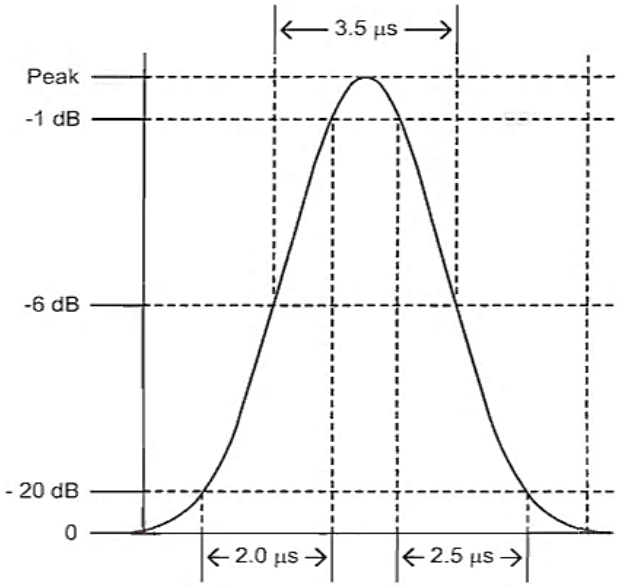


Figure 1. Pulse of TACAN

The system uses 256 channels, 126 to every modes of work. The modes of work are:` X-mode´ and `Y-mode`. Depending on the mode where working on, the spacing values of the pulse trains can change as next figure shows.

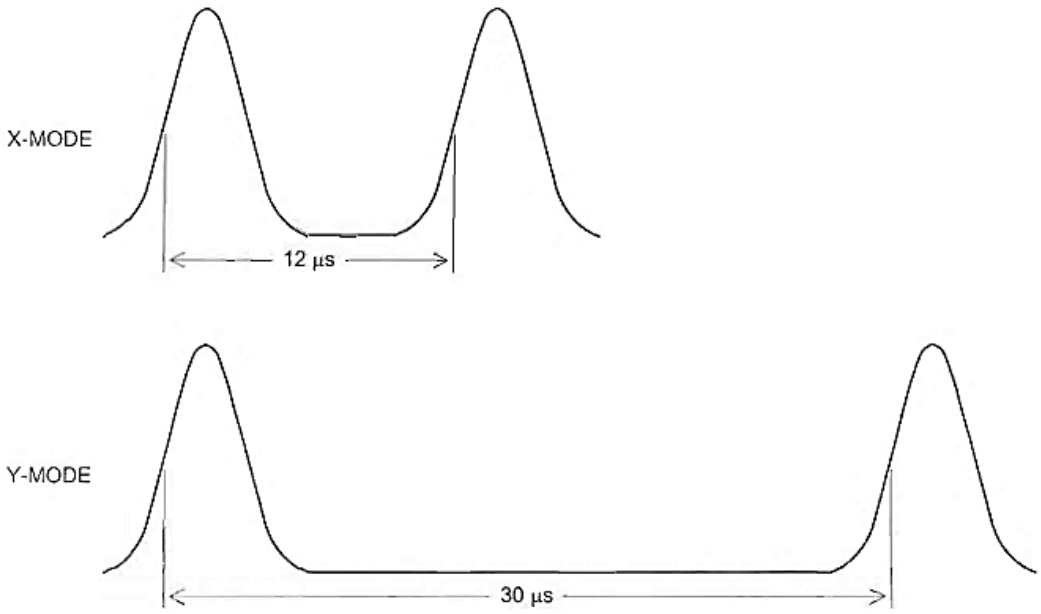


Figure 2. Pairs pulses

Pulse trains of a TACAN signal include next elements:

1. Pulses for direction calculation.
2. Pulses for the identification of the terrestrial station.
3. Pulses for distance calculation.
4. Filler pulses.

When the pulse train amplitude is modulated between 15 Hz-135 Hz, TACAN signal isformed and it can offer the information about the direction, station identification and distance to the TACAN air system.

- Transponder

  It detects and codifies the interrogations which are received by TACAN air system. The tranponder can receive and transmit by any of the 252 channels that it has, being able to be selected from panel control. The coverage area of the transponder is 300 nautical miles.

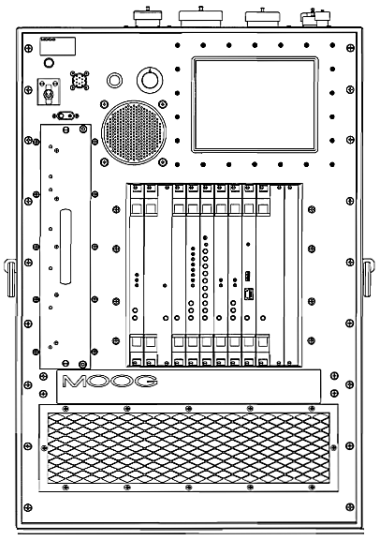


Figure 3. Transponder

- Remote control

  It is used to control the transponder MM-7000 from a remote location. This system is optional and it is not required compulsorily for a completely functional TACAN system, although it is used in most of installations.

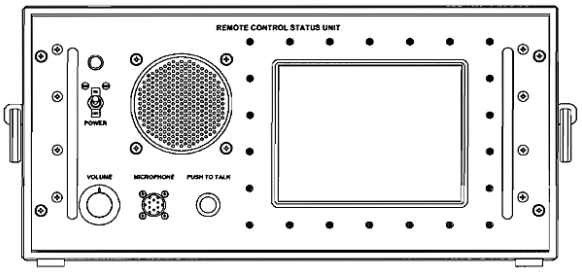


Figure 4. Remote Control

- Antenna

  The antenna receives and transmits a TACAN pulse train of the transponder. It modulates the signal to 15 Hz and 135 Hz. The antenna also receives interrogative signals from TACAN systems and communicates those ones to the transponder.

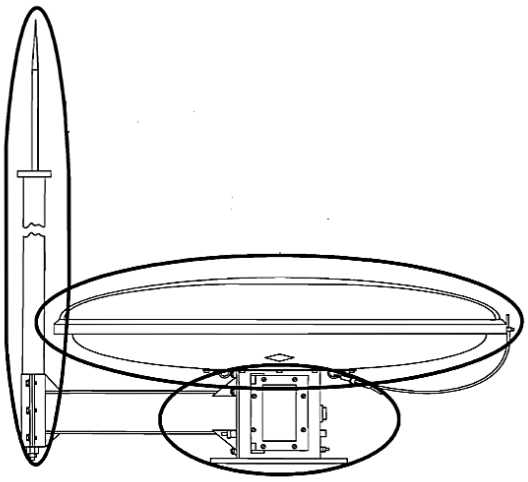


Figure 4. Antenna

Once the working and the parts of the system described, some of the changes done in the system migration will be explained.

One of the main changes has been to prepare the new system with a synchronous/digital converter to transform the analogue sine signal into binary messages to establish the communication between the shipand the aircraft that emits interrogations.

Another change was to relocate the Remote ControlUnit in room C.I.C, where all the mobile communication systems of a ship, to allow users to control the TACAN system without moving themselves where the Transponder is.

Finally, once the antenna was installed and connected to the new transponder, measurements to analyze the level and purity of the signal received were done.